

# **Řízení automatizovaného pracoviště se dvěma roboty**

Control of a Laboratory Stand with Two Robots

**Bc. Jiří Pavelec**

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.

Ostrava, 2021

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem řídicího systému pro laboratorní pracoviště. Pracoviště se skládá ze dvou robotických buněk. Každá buňka je vybavena robotickým ramenem a řídicími prvky od společnosti Mitsubishi. Cílem práce bylo vytvořit prezentační aplikaci, která spojuje dohromady použití PLC systémů, robotických systémů a dalších průmyslových periférií, které pracoviště obsahuje. Návrh aplikace je rozdělen na robotickou část, PLC část a návrh uživatelského rozhraní. V každé části je kromě samotného návrhu aplikace také popis práce s vývojovým prostředím. Vývoj robotické části aplikace probíhal v prostředí softwaru RT Toolbox3, PLC části v GX Works2 a uživatelského rozhraní v GT Designer3. Výsledkem práce je demonstrační aplikace kamerové inspekce dílů a jejich třídění. Principem aplikace je vkládání dílů do pracoviště, manipulace s nimi pomocí robotických ramen a dopravníku a jejich třídění na základě výsledku kamerové kontroly.

## **Klíčová slova**

automatizace, PLC, robot, Mitsubishi, RT Toolbox3, GX Works2, GT Designer3

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the design of a control system for laboratory workplace. The workplace consists of two robotic cells. Each cell is equipped with a robotic arm and controls from the company Mitsubishi. The goal of the thesis was to create a presentation application that combines the use of PLC systems, robotic systems and other industrial peripherals that the workplace contains. The application design is divided into a robotic part, a PLC part and a user interface design. In each part, in addition to the application design itself, there is also a description of working with the development environment. The development of the robotic part of the application took place in the environment of the RT Toolbox3 software, the PLC part in GX Works2 and the user interface in GT Designer3. The result of the thesis is a demonstration application of camera inspection of parts and their sorting. The principle of the application is the insertion of parts into the workplace, manipulation with them using robotic arms and a conveyor and their sorting based on the result of camera inspection.

## **Key words**

automation, PLC, robot, Mitsubishi, RT Toolbox3, GX Works2, GT Designer3

# Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 5 -
Seznam použitých zkratk.....	- 6 -
Seznam ilustrací .....	- 7 -
Seznam tabulek.....	- 9 -
Úvod .....	- 10 -
1 Konstrukce a řídicí prvky laboratorního robotického pracoviště.....	- 11 -
1.1 Konstrukce laboratorního pracoviště.....	- 11 -
1.2 Sestava PLC.....	- 12 -
1.2.1 Základní sběrnice Q35DB .....	- 13 -
1.2.2 Napájecí zdroj Q61P .....	- 13 -
1.2.3 CPU modul Q03UDVCPU .....	- 14 -
1.2.4 Řídicí jednotka pro robotické rameno Q172DRCPU.....	- 14 -
1.2.5 CPU modul Q12DCCPU-V .....	- 14 -
1.2.6 Vstupní modul QX80 .....	- 15 -
1.2.7 Výstupní modul QY80.....	- 15 -
1.3 Operátorský panel GOT 2710-VTWA.....	- 16 -
1.4 Inspekční prvky pracoviště .....	- 16 -
1.4.1 Inspekční objektový senzor IFM O2V100 .....	- 16 -
1.4.2 Optický distanční senzor IFM O1D100 .....	- 17 -
1.4.3 Induktivní senzory IFM IFS205 .....	- 17 -
2 Analýza funkcí laboratorního robotického pracoviště .....	- 18 -
2.1 Zakládací část .....	- 18 -
2.2 Třídící část.....	- 19 -
2.3 Dopravníková část .....	- 19 -
2.4 Periférie .....	- 20 -
2.5 Definice aplikace robotického pracoviště .....	- 20 -
3 Návrh a realizace řídicí aplikace robota .....	- 21 -
3.1 6ti-osé rameno Melfa RV-2F-Q .....	- 21 -
3.2 SCARA rameno Melfa RH-3FH-Q .....	- 22 -
3.3 Robotický kontrolér Mitsubishi CR750-Q.....	- 23 -
3.4 Popis manuálního ovladače.....	- 24 -

3.5	RT Toolbox3.....	- 27 -
3.5.1	Založení projektu.....	- 27 -
3.5.2	Vytvoření programu v RT ToolBox3.....	- 31 -
3.6	Návrh řídicí aplikace robota .....	- 36 -
3.6.1	Robot 1 .....	- 36 -
3.6.2	Robot 2 .....	- 37 -
4	Návrh a realizace řídicí aplikace pro další subsystemy robotického pracoviště .....	- 39 -
4.1	Návrh uživatelského rozhraní aplikace robotického pracoviště .....	- 39 -
4.2	Návrh PLC řídicí aplikace robotického pracoviště .....	- 42 -
4.2.1	Programy „INIT“ a „SL SafetyLocks“ .....	- 43 -
4.2.2	Program „MAIN“ .....	- 43 -
4.2.3	Program „CLEANUP“ .....	- 45 -
4.3	Zapojení signálů.....	- 48 -
5	Testování funkčnosti robotického pracoviště .....	- 50 -
6	Zhodnocení výsledků.....	- 58 -
	Použitá literatura.....	- 59 -
	Seznam příloh.....	- 60 -

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
°	stupeň	jednotka úhlu
<b>A</b>	Ampér	jednotka el. proudu
<b>Hz</b>	Hertz	jednotka frekvence
<b>kbyte</b>	kilobyte	jednotka informace
<b>kg</b>	kilogram	jednotka hmotnosti
<b>m</b>	metr	jednotka délky
<b>MB</b>	megabyte	jednotka informace
<b>mm</b>	milimetr	jednotka délky
<b>ms</b>	milisekunda	jednotka času
<b>ns</b>	nanosekunda	jednotka času
<b>s</b>	sekunda	jednotka času
<b>V</b>	Volt	jednotka el. napětí

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>3D</b>	Three dimensional
<b>AC</b>	Alternating current
<b>apod.</b>	a podobně
<b>AS-i</b>	Actuator Sensor Interface
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DC</b>	Direct current
<b>DIN</b>	Deutsche Industrie Norm
<b>FEI</b>	Fakulta elektrotechniky a informatiky
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>IO</b>	Input Output
<b>J1-6</b>	Joint 1-6
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>n.c.</b>	Not connected
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>R1-2</b>	Robot 1-2
<b>RS</b>	Recommended Standard
<b>SCARA</b>	Selective Compliance Articulated Robot Arm
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
<b>TFT</b>	Thin Film Transistor
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>WS</b>	Work Station

## Seznam ilustrací

Obrázek 1 – Pracoviště WS1 .....	- 11 -
Obrázek 2 – Pracoviště WS2 .....	- 12 -
Obrázek 3 – Ustavení pracovišť WS1 a WS2 .....	- 12 -
Obrázek 4 - Základní sběrnice Q35DB .....	- 13 -
Obrázek 5 - Napájecí zdroj Q61P.....	- 13 -
Obrázek 6 - CPU modul Q03UDVCPU.....	- 14 -
Obrázek 7 - CPU modul Q12DCCPU-V .....	- 14 -
Obrázek 8 - Vstupní modul QX80 .....	- 15 -
Obrázek 9 - Výstupní modul QY80 .....	- 15 -
Obrázek 10 - Operátorský panel GOT 2710-VTWA .....	- 16 -
Obrázek 11 - Inspekční objektový senzor O2V100.....	- 16 -
Obrázek 12 - Optický distanční senzor O1D100.....	- 17 -
Obrázek 13 - Induktivní senzor IFS205 .....	- 17 -
Obrázek 14 – Zakládací část pracoviště .....	- 18 -
Obrázek 15 – Třídící část pracoviště.....	- 19 -
Obrázek 16 – Dopravníková část pracoviště .....	- 19 -
Obrázek 17 – Periférie pracoviště .....	- 20 -
Obrázek 18 - Melfa RV-2F-Q.....	- 22 -
Obrázek 19 - Melfa RH-3FH-Q.....	- 23 -
Obrázek 20 - Kontrolér CR750-Q.....	- 24 -
Obrázek 21 - Mitsubishi teachpendant .....	- 24 -
Obrázek 22 - Zjednodušený teachpendant .....	- 24 -
Obrázek 23 - Popis teachpendantu .....	- 25 -
Obrázek 24 - Popis zjednodušeného teachpendantu .....	- 26 -
Obrázek 25 - Založení projektu .....	- 27 -
Obrázek 26 - Průvodce vložení nového ramene .....	- 27 -
Obrázek 27 - Výběr robotického ramene .....	- 28 -
Obrázek 28 - Nastavení IP adresy kontroléru.....	- 28 -
Obrázek 29 - Volba jazyka .....	- 29 -
Obrázek 30 - Přidání pojízdné osy.....	- 29 -
Obrázek 31 - Definování další osy .....	- 29 -
Obrázek 32 - Definování nástroje.....	- 30 -
Obrázek 33 - Definice zátěže .....	- 30 -
Obrázek 34 - Sumarizace parametrů.....	- 30 -
Obrázek 35 - Založení nového programu .....	- 31 -
Obrázek 36 - Definice jointových bodů .....	- 31 -
Obrázek 37 – Definice bodů pomocí kartézských souřadnic.....	- 32 -
Obrázek 38 - Příklad jointového pohybu.....	- 32 -
Obrázek 39 - Příklad lineárního pohybu.....	- 33 -
Obrázek 40 - Příklad pohybu po kružnici.....	- 33 -
Obrázek 41 - Pohyb s odchylkou .....	- 34 -
Obrázek 42 - Simulace v RT Toolbox3 .....	- 34 -
Obrázek 43 - Okno simulace .....	- 35 -
Obrázek 44 - Okno emulátoru.....	- 35 -
Obrázek 45 - Definice pozic Robot 1 .....	- 37 -

Obrázek 46 - Definice pozic Robot 2 .....	- 38 -
Obrázek 47 - Rozložení robotů .....	- 38 -
Obrázek 48 - Schéma robotického pracoviště .....	- 39 -
Obrázek 49 - Návrh uživatelského rozhraní .....	- 40 -
Obrázek 50 - Parametrizace prvku Switch .....	- 40 -
Obrázek 51 - Prvek s přiřazenou proměnnou .....	- 41 -
Obrázek 52 - Parametrizace prvku Lamp .....	- 41 -
Obrázek 53 - Konfigurace připojení GOT 2710.....	- 41 -
Obrázek 54 - Nahrání grafického rozhraní do GOT 2710 .....	- 42 -
Obrázek 55 - Uživatelské rozhraní aplikace.....	- 42 -
Obrázek 56 - Kategorie PLC programů .....	- 43 -
Obrázek 57 - Diagram – hlavní rutina.....	- 44 -
Obrázek 58 - Diagram – hlavní rutina – pokračování .....	- 45 -
Obrázek 59 - Diagram – vyprázdnění stanice .....	- 46 -
Obrázek 60 - Diagram – vyprázdnění stanice – pokračování .....	- 47 -
Obrázek 61 – AS-i sběrnice.....	- 48 -
Obrázek 62 - Testování aplikace – Založení dílu.....	- 50 -
Obrázek 63 - Testování aplikace –Robot zakládá na paletu .....	- 51 -
Obrázek 64 - Testování aplikace –Díl založen na paletu .....	- 51 -
Obrázek 65 - Testování aplikace –Paleta odjíždí z předávací pozice.....	- 52 -
Obrázek 66 - Testování aplikace –Paleta dojecha na kamerovou kontrolu .....	- 52 -
Obrázek 67 - Testování aplikace –Probíhá kamerová kontrola .....	- 53 -
Obrázek 68 - Testování aplikace –Robot umísťuje díl do zásobníku .....	- 53 -
Obrázek 69 - Testování aplikace –Stav zásobníků .....	- 54 -
Obrázek 70 - Testování aplikace –Spuštění vyprázdnění stroje .....	- 55 -
Obrázek 71 - Testování aplikace –Robot 2 vyprazdňuje zásobníky .....	- 56 -
Obrázek 72 - Testování aplikace –Robot 1 zakládá do odebírací pozice .....	- 56 -
Obrázek 73 - Testování aplikace –Potvrzení odebrání dílu .....	- 57 -
Obrázek 74 - Testování aplikace –Systém ve výchozím stavu .....	- 57 -



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Parametry ramene Melfa RV-2F-Q .....	- 21 -
Tabulka 2 - Parametry ramene Melfa RH-3FH-Q .....	- 22 -
Tabulka 3 - Parametry kontroléru Mitsubishi CR750-Q .....	- 23 -
Tabulka 4 - Signály QX80 a QY80.....	- 48 -

# Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh demonstrační úlohy, která využívá širokou škálu automatizačních prvků. Práce vychází z hardwaru dostupného v laboratorní učebně EB415 Poruba, budova FEI. Řídicí a manipulační část hardwaru je od společnosti Mitsubishi. Tato část zahrnuje 2 průmyslové roboty MELFA, řídicí PLC a uživatelský panel GOT 2710. Použitá sensorika je od firmy IFM.

První kapitola popisuje konstrukci pracoviště a jednotlivé řídicí prvky, což zahrnuje PLC šasi, kontrolér a jednotlivé PLC moduly. Je zde popsána i sensorika, která se na pracovišti nachází.

Ve druhé kapitole proběhla analýza robotického pracoviště a jeho rozdělení na jednotlivé části, se kterými se bude následně pracovat. Pracoviště bude rozděleno na základací část, která obsahuje šestiosého robota, třídící část se čtyřosým robotem a kamerou, dopravníkovou část s paletami na dopravu dílů a periférie, mezi které patří například indukční senzory. Na základě této analýzy byla vydefinována aplikace pro robotické pracoviště.

Z definice aplikace vyvstaly požadavky na návrh tří ovládacích subsystémů. Zaprvé bude nutno navrhnout uživatelské rozhraní pro ovládání aplikace. Rozhraní bude navrženo a zrealizováno v softwaru GT Designer3. Zadruhé PLC část, která v této aplikaci bude v roli „Mastera“ a bude řídit veškeré subsystémy. Programování PLC proběhne v programu GX Works2 s použitím programovacího jazyka Ladder. Zatřetí pak robotická část, která bude naprogramována v softwaru RT Toolbox3. Součástí návrhu těchto subsystémů bude i popis práce s jednotlivými vývojovými softwary s tím, že větší důraz bude kladen na robotickou část.

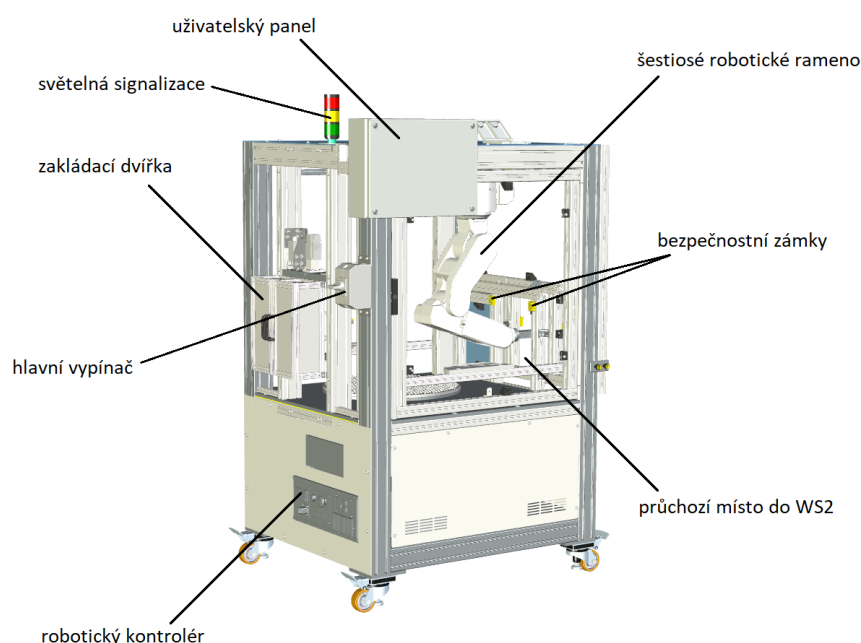
Součástí práce je i část, která se věnuje testování vytvořené aplikace a kontrole naplnění definovaných funkcí aplikace.

# 1 Konstrukce a řídicí prvky laboratorního robotického pracoviště

Laboratorní pracoviště se nachází v budově Fakulty elektrotechniky a informatiky v Ostravě Porubě. Číslo místnosti je EB415.

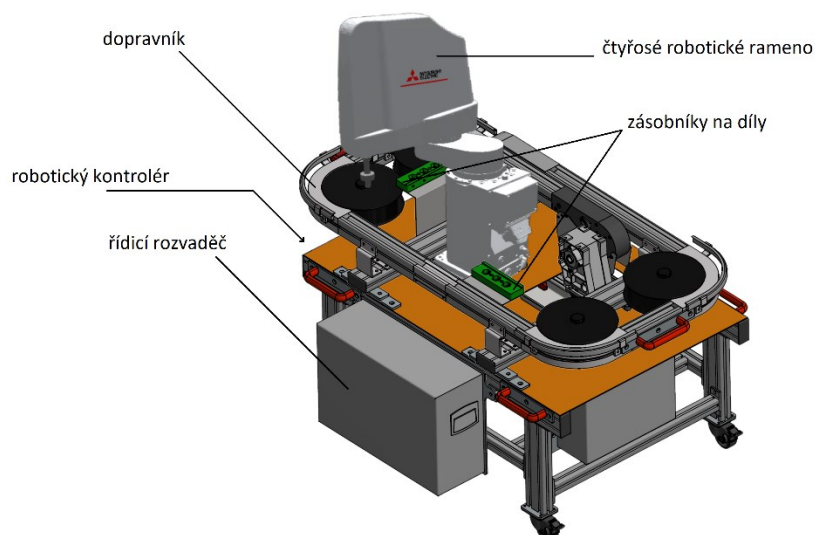
## 1.1 Konstrukce laboratorního pracoviště

Laboratorní pracoviště se skládá ze dvou robotických buněk. V levé části pracoviště se nachází buňka se šestiosým robotem, pracovně nazvaná WS1. Buňka obsahuje zakládací dvířka, robotický kontrolér, šestiosé robotické rameno, bezpečnostní zámky a čidla, uživatelský panel a průchozí místo do druhé robotické buňky. Dále je buňka vybavena světelnou signalizací v podobě tříbarevného majáku a hlavním vypínačem.



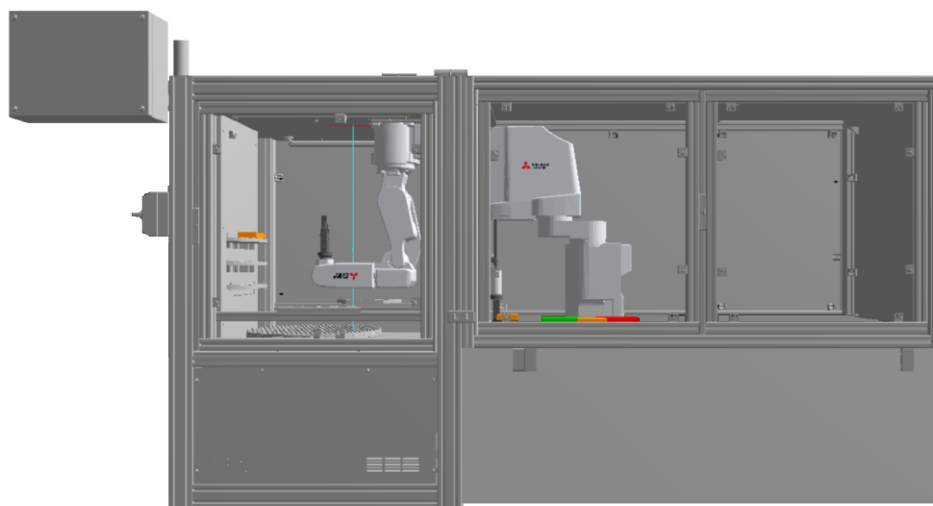
Obrázek 1 – Pracoviště WS1

Buňka se čtyřosým robotem, pracovně nazvaná WS2, je umístěna v pravé části pracoviště. Skládá se z průchozího místa do buňky WS1, dopravníku, robotického kontroléru, čtyřosého robotického ramene, zásobníků na díly a rozvaděče s řídicími prvky. Buňka je uzavřena pomocí uzamykatelných dveří.



*Obrázek 2 – Pracoviště WS2*

Buňky jsou ustaveny tak, aby byl možný tok materiálu mezi nimi. Vstupním místem pro materiál jsou dvířka na buňce WS1.



*Obrázek 3 – Ustavení pracovišť WS1 a WS2*

## 1.2 Sestava PLC

Řídicím prvkem celého pracoviště je PLC sestava od výrobce Mitsubishi Electric. PLC neboli programovatelný logický automat je průmyslové zařízení, které se používá pro automatizaci procesů v reálném čase.

V této aplikaci je použito modulární PLC, které se skládá z jednotlivých modulů zajišťujících chod aplikace, ovládání vstupů/výstupů a dalších funkčních modulů.

### 1.2.1 Základní sběrnice Q35DB

Základní sběrnice slouží k upevnění a propojení jednotlivých modulů PLC sestavy. Mezi tyto moduly patří například CPU, vstupní, výstupní moduly, napájecí moduly, robotické CPU, připojení průmyslových sběrnic a podobně.



Obrázek 4 - Základní sběrnice Q35DB

Sběrnice Q35DB disponuje pěti pozicemi pro zásuvné moduly a jednou pozicí pro napájecí zdroj. Sběrnice se montuje pomocí šroubů, nebo na DIN lištu.

### 1.2.2 Napájecí zdroj Q61P

Napájecí zdroj Q61P zajišťuje napájení celé PLC sestavy. Je umístěn v prvním slotu sběrnice.



Obrázek 5 - Napájecí zdroj Q61P

Parametry zdroje Q61P:

- |                  |             |
|------------------|-------------|
| • Zdroj napájení | 100–240 V   |
| • Proudový typ   | AC          |
| • Výstup         | 5 V DC, 6 A |

### 1.2.3 CPU modul Q03UDVCPU

CPU modul Q03UDVCPU je víceprocesorový modul, který poskytuje vysoký výpočetní výkon a dostatečný paměťový prostor pro vývoj PLC aplikací. Obsahuje funkci autodiagnostiky, díky které je schopen detekovat chyby CPU, poruchy paměti, provádět programovou kontrolu, detekovat poruchy zdroje napájení apod.



Obrázek 6 - CPU modul Q03UDVCPU

Základní parametry CPU modulu Q03UDVCPU:

- Celkový počet vstupů/výstupů 4096/8192
- Kapacita paměti 32 MB
- Programová paměť 30 tisíc kroků (120 kbyte)
- Perioda cyklu programu 1,9 ns/log. instrukci

### 1.2.4 Řídicí jednotka pro robotické rameno Q172DRCPU

Řídicí jednotka Q172DRCPU slouží k ovládání robotického ramene. Přebírá řízení z kontroléru robota, který tak pouze zajišťuje bezpečnost a silovou část robota.

### 1.2.5 CPU modul Q12DCCPU-V

V sestavě je použit rozšiřující CPU modul Q12DCCPU-V, čímž dosáhneme navýšení výpočetního výkonu, programové paměti a rozšíření počtu komunikačních a síťových prvků.



Obrázek 7 - CPU modul Q12DCCPU-V

Základní parametry CPU modulu Q12DCCPU-V:

- Celkový počet vstupů/výstupů 4096
- Kapacita paměti 128 MB

### 1.2.6 Vstupní modul QX80

Vstupní modul QX80 slouží k přivedení digitálních signálů do PLC.



*Obrázek 8 - Vstupní modul QX80*

Základní parametry vstupního modulu QX80:

- Vstupní napětí 24V
- Počet digitálních vstupů 16

### 1.2.7 Výstupní modul QY80

Výstupní modul QY80 slouží k výstupu digitálních signálů z PLC.



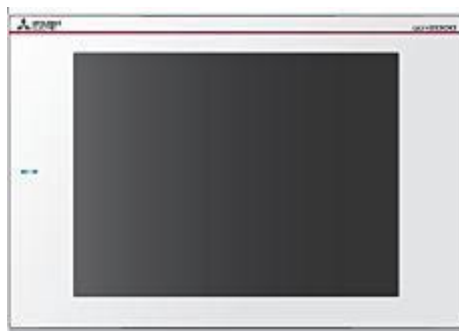
*Obrázek 9 - Výstupní modul QY80*

Základní parametry výstupního modulu QY80:

- Výstupní napětí 12/24V
- Počet digitálních výstupů 16

### 1.3 Operátorský panel GOT 2710-VTWA

Operátorský panel slouží ke komunikaci mezi strojem a obsluhou.



*Obrázek 10 - Operátorský panel GOT 2710-VTWA*

Základní parametry operátorského panelu GOT 270-VTWA:

- Rozměr 10,4"
- Technologie TFT
- Rozlišení 640x480 pixelů
- Komunikační rozhraní RS-422/485, RS-232, USB, Ethernet

### 1.4 Inspekční prvky pracoviště

Pracoviště je vybaveno několika inspekčními prvky, které zajišťují monitorování polohy a rozbor objektu, se kterým se manipulováno.

#### 1.4.1 Inspekční objektový senzor IFM O2V100

Tento senzor slouží ke kontrole přítomnosti, rozměru a polohy objektů. Přístroj dokáže spolehlivě detekovat odchylky tvaru nebo barvy. Jedná se o samostatně stojící přístroj s integrovaným osvětlením. Komunikace s tímto zařízením probíhá přes rozhraní Ethernet.



*Obrázek 11 - Inspekční objektový senzor O2V100*

Základní parametry sensoru O2V100:

- Rozlišení obrazu 640x480 pixelů
- Max. rychlost čtení 20 Hz
- Počet dig. vstupů/výstupů 2/5
- Komunikační rozhraní Ethernet



#### 1.4.2 Optický distanční senzor IFM O1D100

Optický senzor O1D100 slouží k měření vzdálenosti s rozsahem až do 10 m. Disponuje dvěma spínacími výstupy a škálovatelným rozsahem snímání.



*Obrázek 12 - Optický distanční senzor O1D100*

Základní parametry sensoru O2V100:

- |                        |         |
|------------------------|---------|
| • Komunikační rozhraní | IO-Link |
| • Provozní napětí      | 18-30 V |
| • Měřicí dosah         | až 10 m |
| • Počet dig. výstupů   | 2       |

#### 1.4.3 Induktivní senzory IFM IFS205

Pracoviště je vybaveno několika induktivními senzory IFS205, které indikují přítomnost kovového prvku v dosahu senzoru. Skládají se z kovového těla a LED diod signalizující sepnutý stav. Vyznačují se vysokou frekvencí a velkou spínací vzdáleností.



*Obrázek 13 - Induktivní senzor IFS205*

Základní parametry sensoru IFS205:

- |                      |            |
|----------------------|------------|
| • Spínací vzdálenost | 7 mm       |
| • Typ závitů         | M12x1/L=50 |
| • Spínací frekvence  | 700 Hz     |

## 2 Analýza funkcí laboratorního robotického pracoviště

Laboratorní pracoviště obsahuje několik stěžejních prvků automatizace, které mohou být využity pro sestavení demonstrační úlohy. Mezi tyto prvky patří:

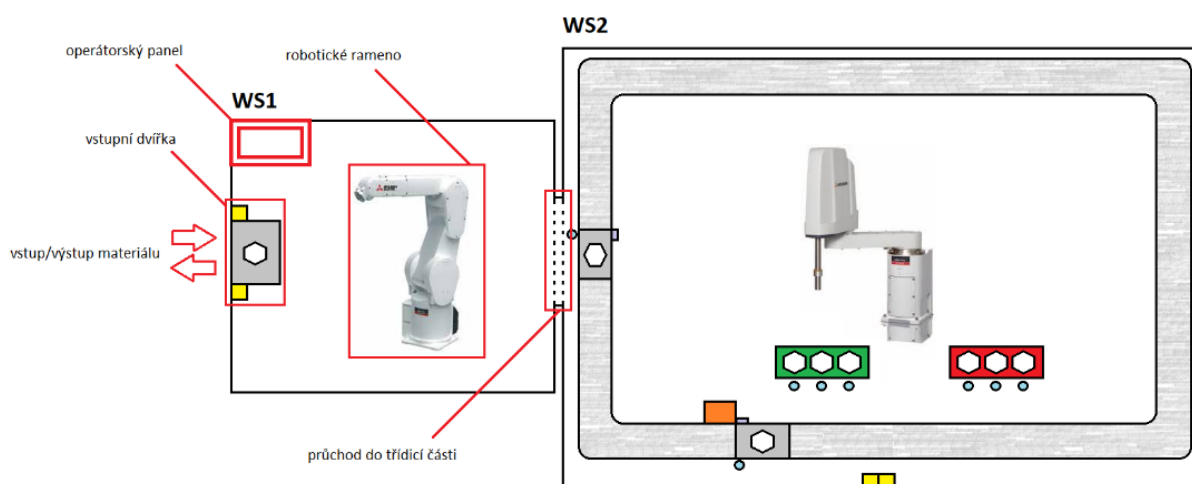
- Otočná dvířka na WS1 – možnost vkládání a odebírání materiálu
- Operátorský panel – komunikace s uživatelem, ovládání aplikace
- Robotická ramena – manipulace s materiálem
- Dopravník – pohyb materiálu na pracovišti
- Paleta – uložení materiálu na dopravníku
- Zásobníky dílů – odložení, skladování materiálu
- Kamera – inspekce materiálu
- Stopery – pozicování palety na dopravníku
- Indukční senzory – indikace přítomnosti objektu
- Bezpečnostní zámky – zajištění bezpečnosti

Na základě těchto možností je možno pracoviště rozdělit na několik dílčích částí podle jejich funkčnosti. Základní části jsou:

- Zakládací část
- Třídící část
- Dopravníková část
- Periférie

### 2.1 Zakládací část

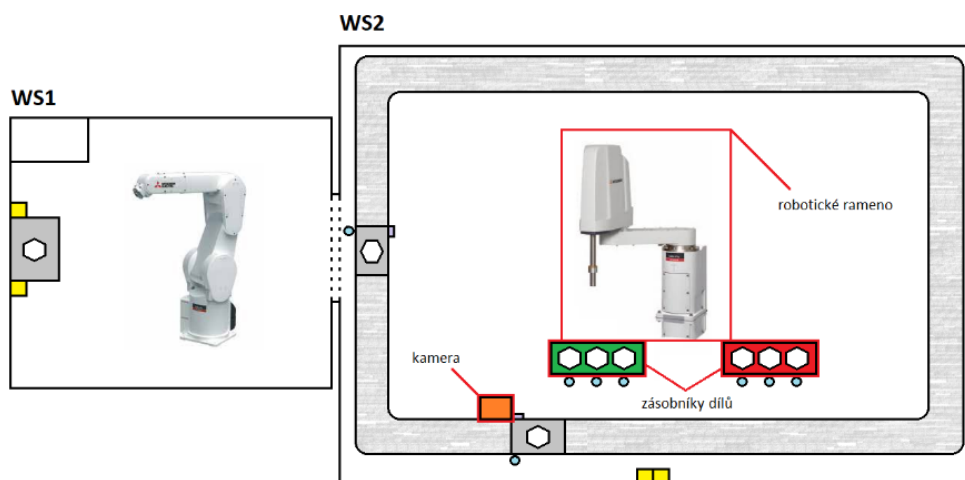
Zakládací část pracoviště se skládá ze vstupních dvírek, do kterých lze vkládat materiál, robotického ramene Melfa RV-2F-Q, průchodu do třídící a dopravníkové části a uživatelského panelu. Vstupní dvířka jsou vybavena bezpečnostními zámky.



Obrázek 14 – Zakládací část pracoviště

## 2.2 Třídící část

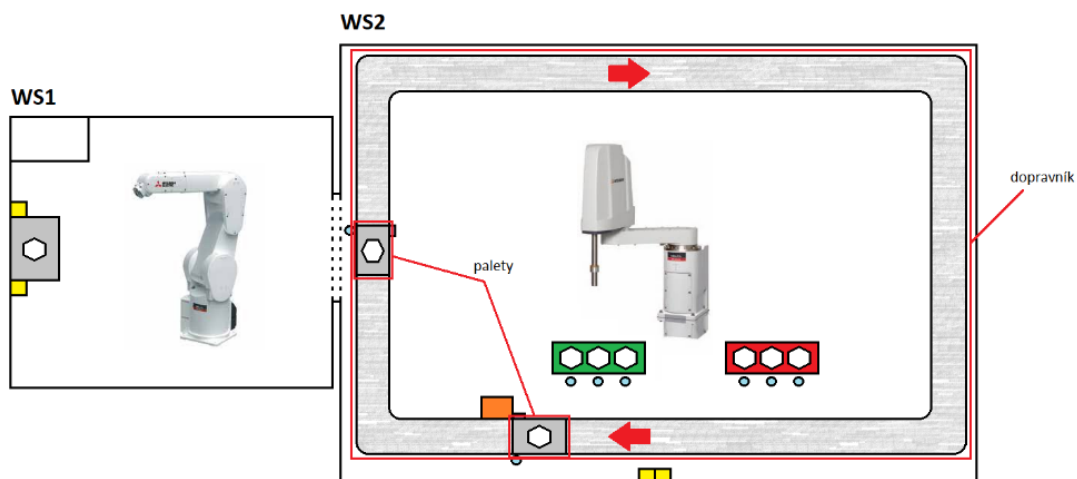
Do třídící části může být zahrnuto robotické rameno Melfa RH-3FH-Q, odkládací zásobníky pro výrobky, případně kamerovou inspekci.



Obrázek 15 – Třídící část pracoviště

## 2.3 Dopravníková část

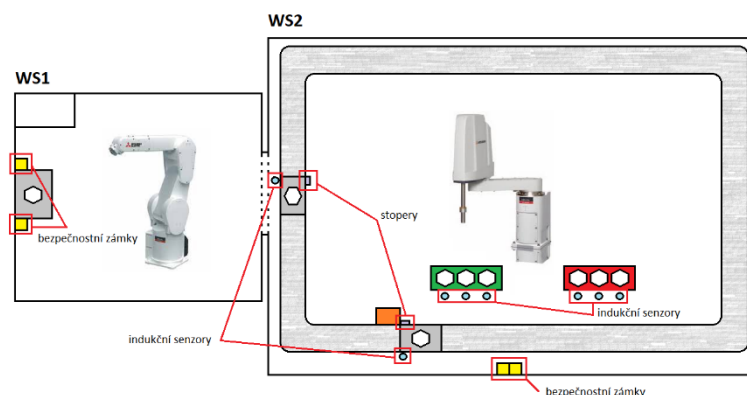
Hlavním prvkem této části je oválný dopravník, na kterém se přepravují plastové paletky s materiálem. Paletky s dílem putují na dopravníku k jednotlivým inspekčním stanovištím, které následně dávají informaci třídící části, jak s díly naložit.



Obrázek 16 – Dopravníková část pracoviště

## 2.4 Periférie

Do této části patří veškeré okrajové periférie potřebné pro chod pracoviště. Mezi tyto periférie se řadí indukční senzory, stopery, bezpečnostní zámky apod.



Obrázek 17 – Periférie pracoviště

Na základě této analýzy funkcí robotického pracoviště je možno definovat funkčnost demonstrační aplikace.

## 2.5 Definice aplikace robotického pracoviště

Laboratorní robotické pracoviště má sloužit k demonstraci kooperace jednotlivých částí, tj. manipulace s materiálem, kamerová kontrola, tok materiálu na dopravníku, obsluha HMI.

Demonstrační úloha je zadána následovně:

1. Obsluha založí materiál do rotačního stolíku v základací části a na uživatelském panelu potvrdí založení dílu.
2. Robot odebere díl ze stolíku a umístí jej na připravenou paletku v třídící části.
3. Paletka putuje na dopravníku přes jednotlivá inspekční stanoviště, a nakonec je po vyhodnocení stavu dílu díl umístěn SCARA robotem do OK nebo NOK zásobníku.
4. Systém má přehled o zaplnění jednotlivých zásobníků.
5. Toto je opakováno do stavu, kdy dojde k zaplnění jednoho ze zásobníků.
6. Systém poté znemožní zakládání dalšího materiálu do pracoviště a vyzve obsluhu k vyprázdnění stroje.
7. Po potvrzení SCARA robot po jednom kuse předává materiál z plného zásobníku zpět do vstupní části, kde jej přebírá robot a umísťuje jej na rotační stolík.
8. V momentě, kdy jsou oba zásobníky vyprázdněny, je opět možno vkládat díly do pracoviště.

### 3 Návrh a realizace řídicí aplikace robota

V první části kapitoly jsou popsána robotická ramena Mitsubishi, robotický kontrolér CR750-Q, základní práce s robotickým vývojovým prostředím RT ToolBox3 a vysvětleny základní typy pohybů, se kterými můžeme při programování robotických ramen pracovat.

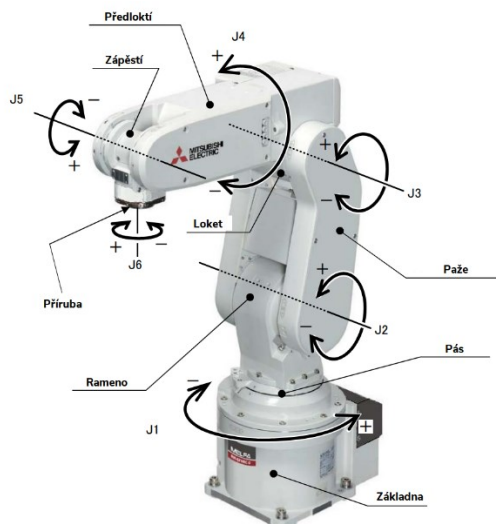
Druhá část kapitoly popisuje vlastní zpracování robotické části aplikace pro laboratorní automatizované pracoviště.

#### 3.1 6ti-osé rameno Melfa RV-2F-Q

V první pracovní stanici označené jako WS1 je umístěno robotické rameno Melfa RV-2F-Q. Rameno slouží k manipulaci s materiálem, to znamená odebírání materiálu ze základací pozice a jeho následné umístění na paletu umístěnou dopravníku. Při vyprazdňování stroje umísťuje materiál z palety do základací pozice. Rameno má následující parametry:

*Tabulka 1 - Parametry ramene Melfa RV-2F-Q*

Počet stupňů volnosti		6
Možnost instalace		podlaha, strop, zeď
Systém pohonů		AC servo motory (J2, J3, J5 vybaveny brzdou)
Zpětná vazba polohy kloubů		absolutní enkodér
Dosah		504 mm
Rozsahy kloubů	J1	480 ( $\pm 240$ ) °
	J2	240 ( $\pm 120$ ) °
	J3	160 (0-160) °
	J4	400 ( $\pm 200$ ) °
	J5	240 ( $\pm 120$ ) °
	J6	720 ( $\pm 360$ ) °
Rychlosti kloubů	J1	300 °/s
	J2	150 °/s
	J3	300 °/s
	J4	450 °/s
	J5	450 °/s
	J6	720 °/s
Maximální zatížení		3 kg
Opakovatelnost		$\pm 0.02$
Hmotnost		19 kg



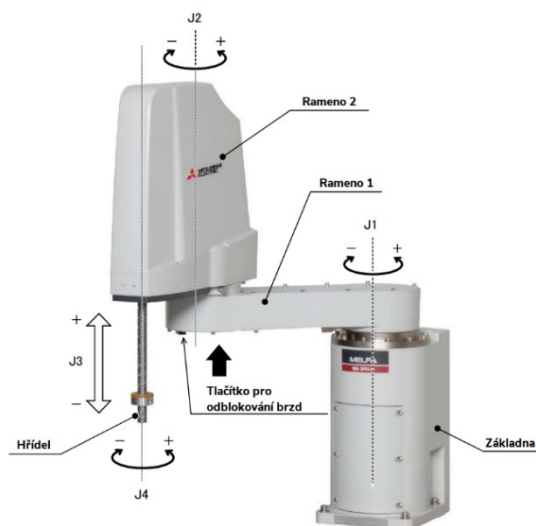
Obrázek 18 - Melfa RV-2F-Q

### 3.2 SCARA rameno Melfa RH-3FH-Q

Ve druhé pracovní stanici označené jako WS2 je umístěno robotické rameno Melfa RH-3FH-Q. Rameno slouží k odebrání materiálu z palety a jeho následné umístění do jedno ze zásobníků, OK nebo NOK. Další využití nachází při vyprazdňování stroje, tj. umísťování materiálu ze zásobníků na paletu. Rameno má následující parametry:

Tabulka 2 - Parametry ramene Melfa RH-3FH-Q

Počet stupňů volnosti		4
Možnost instalace		podlaha
Systém pohonů		AC servo motory
Zpětná vazba polohy kloubů		absolutní enkodér
Dosah		550 mm
Rozsahy kloubů	J1	340 ( $\pm 170$ ) °
	J2	290 ( $\pm 145$ ) °
	J3	150 mm
	J4	720 ( $\pm 360$ ) °
Rychlosti kloubů	J1	420 °/s
	J2	720 °/s
	J3	1100 mm/s
	J4	3000 °/s
Maximální zatížení		3 kg
Opakovatelnost	X-Y	$\pm 0.01$
	J3	$\pm 0.01$
	J4	$\pm 0.004$
Hmotnost		29 kg



Obrázek 19 - Melfa RH-3FH-Q

### 3.3 Robotický kontrolér Mitsubishi CR750-Q

Kontrolér CR750-Q zabezpečuje v tomto případě pouze výkonovou část řízení robota, hlídání základní bezpečnosti a stavu robota. Samotné řízení provádí robotický modul Q172DRCPU.

Tabulka 3 - Parametry kontroléru Mitsubishi CR750-Q

Typ		CR750-Q
Kapacita paměti	Počet naprogramovaných bodů	13000
	Počet kroků programu	26000
	Počet programů	256
Programovací jazyk		MELFA BASIC IV, V
Externí I/O	Počet uživatelských vstupů/výstupů	0/0
	I/O ovládání nástroje	8/8
	Emergency vstup	1
	Vstup dveří	1
	Deadman vstup	1
	Emergency výstup	1
	Mode výstup	1
	Robot error výstup	1
	Počet možných přídavných os	1
	Vstup přepínače režimů	1
Rozhraní	RS-422	1
	Ethernet	1
	Připojení přídavné osy	1
Zdroj napětí	Napětí	120/230V, 1 fáze
	Frekvence	50/60
Rozměry		430(š)x425(h)x174(v)
Hmotnost		16 kg



*Obrázek 20 - Kontrolér CR750-Q*

### 3.4 Popis manuálního ovladače

Pro základní pohyb robotického ramene a pro naučení fyzických bodů v prostoru se používá manuální ovládač robota neboli teachpendant.



*Obrázek 21 - Mitsubishi teachpendant*

Tento ovladač lze zakoupit ve zjednodušené verzi vybavené pouze řádkovým displayem.



*Obrázek 22 - Zjednodušený teachpendant*



## Popis teachpendantu



Obrázek 23 - Popis teachpendantu

- 1 - Tlačítko pro aktivaci teachpendantu
- 2 - Emergency stop pro zastavení robota
- 3 - Rotační ovladač pro krokování pohybu
- 4 - Grafický dotykový display
- 5 - Sada levých tlačítek
  - STOP – zastavení běhu programu
  - SERVO – zapnutí nebo vypnutí napájení servomotorů robota
  - RESET – reset programu robota
  - CAUTION – tlačítko pro vyvolání okna s chybovými hláškami robota
  - HOME – přidržením tohoto tlačítka se robot přesune do definované HOME pozice
- 6 - Tlačítka pro nastavování celkové rychlosti robota
- 7 - Výběr typu pohybu robota
  - HAND – pohyb ramene v kartézských souřadnicích koncového nástroje
  - JOG – pohyb jednotlivých kloubů ramene
- 8 - Sada multifunkčních tlačítek +-. Jejich funkce závisí na okně, které je zvolené na display. Může to být např. pohyb jednotlivých kloubů, ovládání I/O, ...
- 9 - Navigační tlačítka pro pohyb na display
- 10 - Tlačítko pro spuštění programu robota



*Obrázek 24 - Popis zjednodušeného teachpendantu*

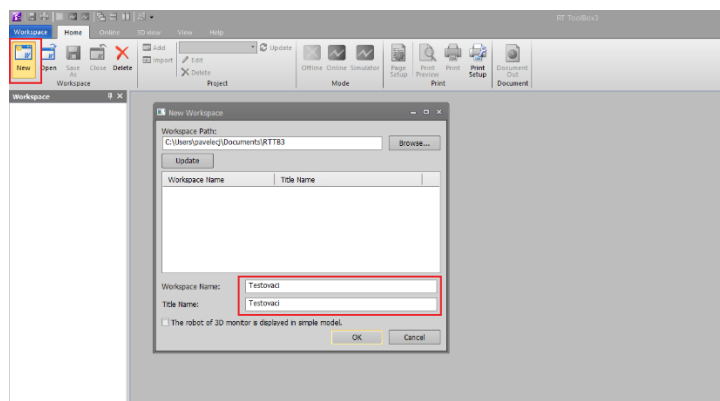
- 1 - Řádkový display
- 2 - Funkční tlačítka a indikace přítomnosti napájení
- 3 - Funkční tlačítka a indikace přítomnosti napájení na servech, indikace erroru
- 4 - Emergency stop pro zastavení robota
- 5 - Sada levých tlačítek
  - FUNCITON – výběr funkce na displayi
  - SERVO – zapnutí nebo vypnutí napájení servomotorů robota
  - JOG – pohyb jednotlivých kloubů ramene
  - HAND – pohyb ramene v kartézských souřadnicích koncového nástroje
  - CHARACTER – změna funkčnosti klávesnice
  - RESET – reset programu robota
- 6 - Tlačítka pro nastavování celkové rychlosti robota
- 7 - Zastavení běhu programu
- 8 - Tlačítka pro manuální pohyb robota
- 9 - Klávesnice pro zadávání textu
- 10 - Navigační tlačítka a tlačítko pro vymazání řádku textu na displayi, spuštění programu

## 3.5 RT Toolbox3

Pro programování robotických ramen Mitsubishi, jejich zapojení a interakci do komplexního automatizovaného systému slouží program RT Toolbox3. V následující části je předvedeno založení nového projektu, výběr robotického ramene a jsou představeny základní pohybové instrukce. Z těchto instrukcí je sestaven jednoduchý program pro pohyb ramene a ověřen v simulaci.

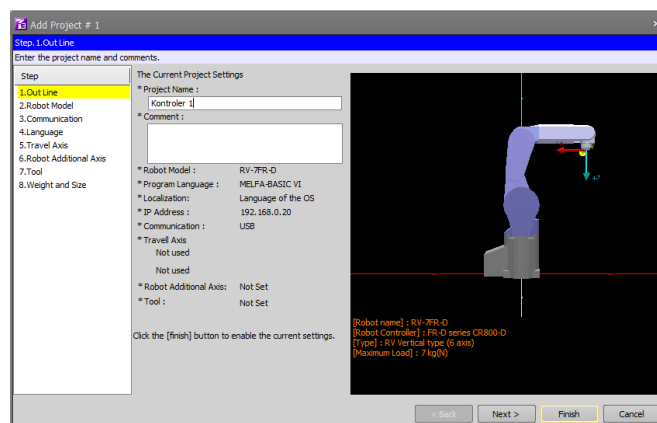
### 3.5.1 Založení projektu

K založení nového projektu v programu RT Toolbox3 se využívá tlačítko „New“. Je požadováno zadat název projektu a potvrzení tlačítkem „OK“.



Obrázek 25 - Založení projektu

Je zobrazen průvodce přidáním nového robotického ramene. V jednom projektu je možno mít ramen více, proto je pro každé rameno nutné zvolit unikátní pojmenování. V tomto případě „Kontroler 1“.



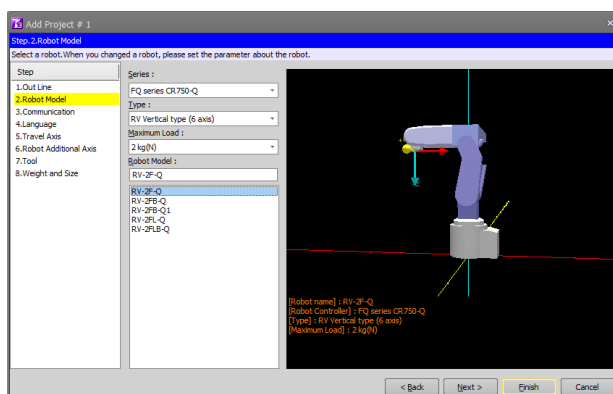
Obrázek 26 - Průvodce vložení nového ramene

### Out Line

V této záložce je shrnutí konfigurace ramene, které má být vloženo. Tento seznam se mění na základě toho, jaké nastavení je zvoleno v dalších záložkách.

## Robot Model

V této záložce je volen typ ramene. Robotická ramena jsou rozdělena dle výrobní série, typu a maximálního povoleného zatížení.

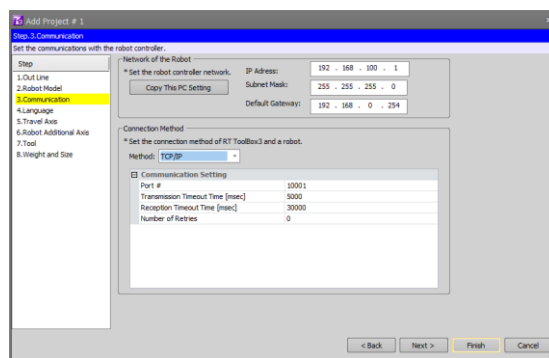


*Obrázek 27 - Výběr robotického ramene*

V tomto případě je zvoleno rameno RV-2F-Q popsané výše. V pravé části okna je zobrazen 3D model vybraného ramene.

## Communication

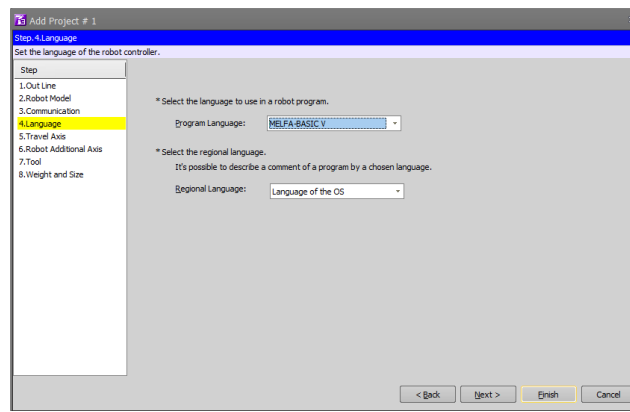
V této záložce je nastavován způsob komunikace s robotickým kontrolérem. Volíme zde IP adresu kontroléru a způsob komunikace. V tomto případě TCP/IP.



*Obrázek 28 - Nastavení IP adresy kontroléru*

## Language

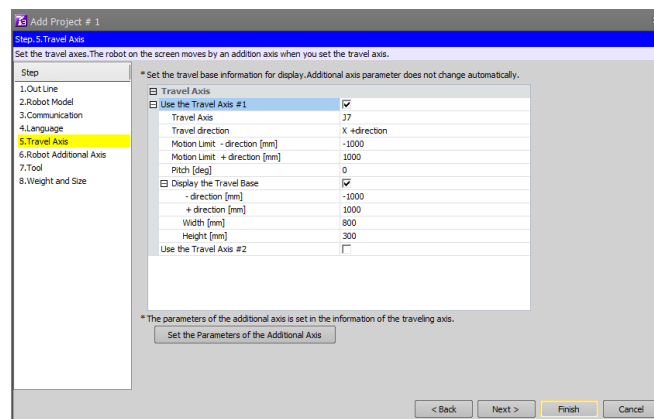
Zde je volen programovací jazyk a jazyk pro komentáře.



Obrázek 29 - Volba jazyka

## Travel Axis

Existují případy použití, kdy je robotické rameno umístěno na pojízdné ose pro zvětšení pracovního prostoru robota. Nastavení této osy se provádí v této záložce.

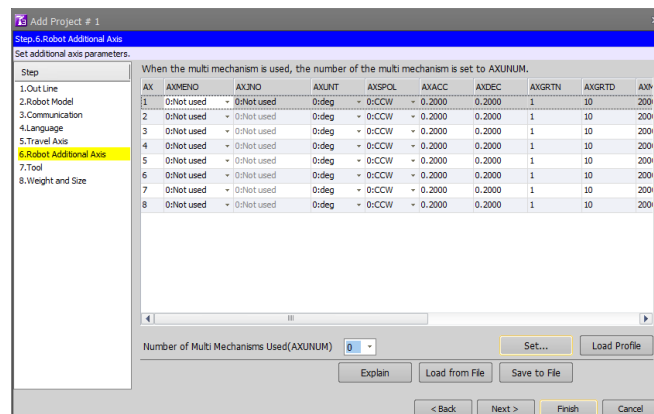


Obrázek 30 - Přidání pojízdné osy

V tomto případě pojízdná osa není použita.

## Robot Additional Axis

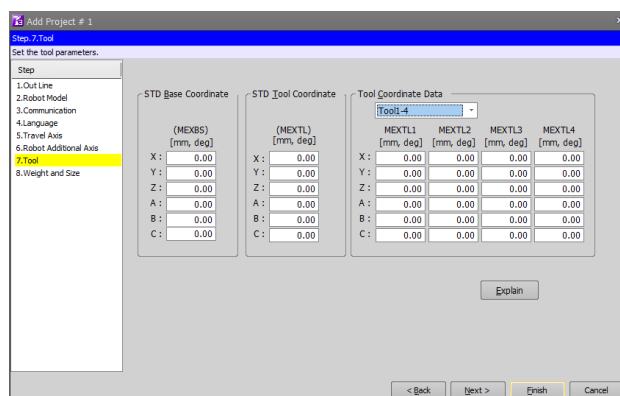
Robotický kontrolér je možno použít pro ovládání dalších os. Tyto osy se definují v následující záložce.



Obrázek 31 - Definování další osy

## Tool

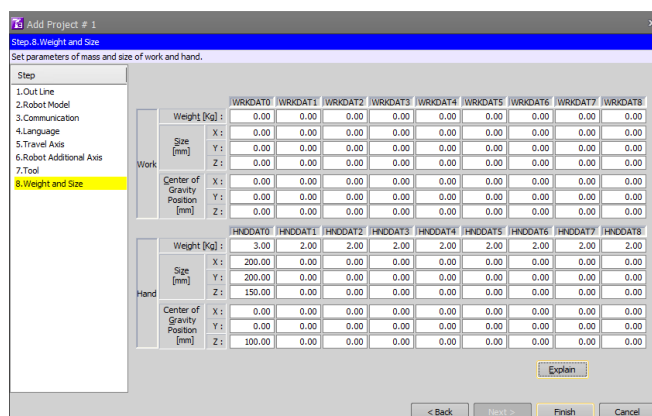
V záložce Tool je definován souřadnicový systém nástroje, případně je možno upravit výchozí souřadnicový systém. Pro každé rameno je možno definovat až 16 různých souřadnic nástrojů.



Obrázek 32 - Definování nástroje

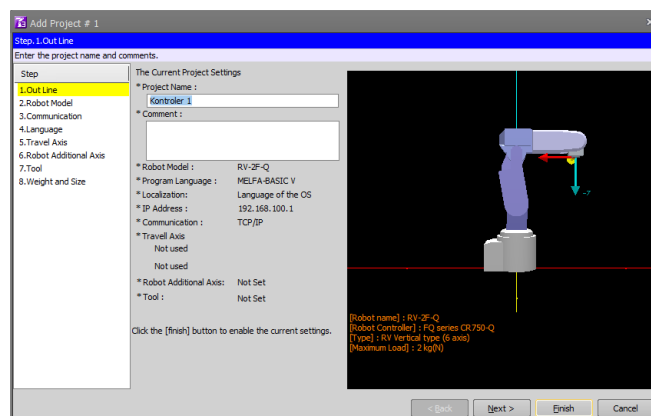
## Weight and Size

Zde je definována zátěž, kterou nese robot buďto jako nástroj nebo případně další zařízení umístěné na rameni.



Obrázek 33 - Definice zátěže

Po nastavení všech těchto parametrů je možno vidět, jak se změnil obsah záložky „Out Line“.



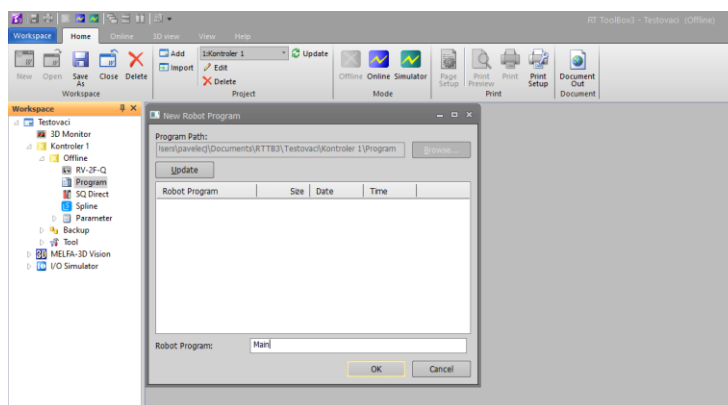
Obrázek 34 - Sumarizace parametrů

Robotické rameno je vloženo do projektu stisknutím tlačítka „Finish“.

### 3.5.2 Vytvoření programu v RT ToolBox3

Dále jsou popsány základní pohybové instrukce jazyka MELFA Basic V a je ukázán příklad programu pro pohyb robotického ramene. Je představen způsob definování bodů, rychlosti pohybu a popsán rozdíl mezi jednotlivými typy pohybu.

Nejprve je založen nový program, kterému je dán název „MAIN“. Založení je provedeno kliknutím pravým tlačítkem myši na záložku Program v levém okně a výběrem „New“.



Obrázek 35 - Založení nového programu

V prostoru je možno definovat 2 typy bodů. Bod může být definován buďto kombinací natočení jednotlivých kloubů (tzv. jointový bod) anebo v kartézských souřadnicích vztažených k danému počátku. Ten může být buďto výchozí v základně robota anebo uživatelsky definovaný.

Position						
<div>Add Edit Delete</div>						
Name	J1	J2	J3	J4	J5	J6
jA	0.000	-0.010	89.990	0.000	90.000	0.000
jB	31.150	43.740	94.400	-0.010	41.850	31.160
jC	-38.760	48.110	86.790	0.010	45.090	-38.770
<div>XYZ Alt+X Joint Alt+J</div>						

Obrázek 36 - Definice jointových bodů

Na obrázku výše jsou definovány tři jointové body. Pro vytvoření nového bodu je použito tlačítko „Add“. Hodnoty natočení kloubů se vkládají buďto ručně anebo ze Simulace, případně po připojení na reálného robota stisknutím tlačítka „GetCurrPos“.

Position						
<div> Add Edit Delete </div>						
Name	X	Y	Z	A	B	C
pA	269.970	0.000	505.090	-180.000	0.020	180.000
pB	322.170	194.720	223.450	-180.000	0.010	180.000
pC	310.180	-249.020	223.400	-180.000	0.010	-180.000
<div> XYZ Alt+X Joint Alt+J </div>						

Obrázek 37 – Definice bodů pomocí kartézských souřadnic

Na tomto obrázku je vidět definice bodů pomocí kartézských souřadnic. Stejně jako u jointových bodů, jsou body založeny pomocí tlačítka „Add“ a jejich hodnoty vkládány ručně, nebo pomocí tlačítka „GetCurrPos“, které vloží aktuální souřadnice polohy robota.

Při programování robotických úloh se používají tři základní typy pohybu. Tyto typy pohybu se používají vesměs pro všechny robotické platformy, liší se pouze zápisem instrukcí v daném programovacím jazyce. Následující instrukce používá programovací jazyk MELFA Basic V.

#### **Mov <Target Position>, <Close Distance>**

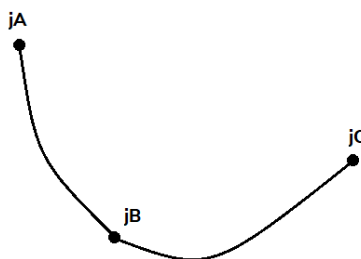
Jedná se o jointový pohyb, při kterém si ideální trajektorii vypočítá kontrolér robota s ohledem na rychlost, zatížení ramene atd. Nejedná se tedy o nejkratší dráhu mezi dvěma body a pohyb ramene není předem určený. Jako <Target Position> může být použit jak jointový, tak kartézský bod. Parametr <Close Distance> určuje odchylku od daného bodu. Pokud je požadováno, aby robot dojel skutečně až do daného bodu, tento parametr musí být nulový anebo vynechán.

*Příklad:*

*Mov jA*

*Mov jB*

*Mov jC*



Obrázek 38 - Příklad jointového pohybu

#### **Mvs <Target Position>, <Close Distance>**



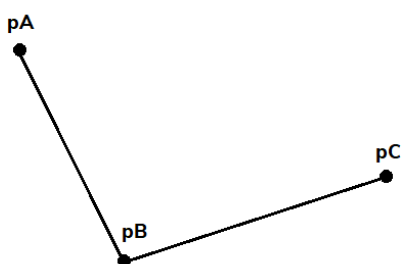
Jedná se o lineární pohyb mezi dvěma body. Trajektorií je tedy přímka. Tento pohyb může být na rozdíl od jointového pohybu pomalejší, jelikož robot se drží přesně přímky. Jako <Target Position> je použit kartézský bod. Parametr <Close Distance> určuje odchylku od daného bodu stejně jako u jointového bodu.

*Příklad:*

*Mvs pA*

*Mvs pB*

*Mvs pC*

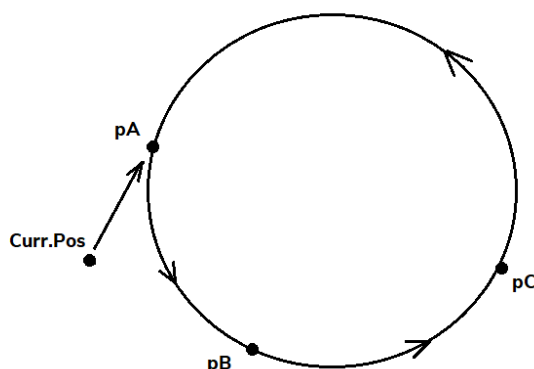


Obrázek 39 - Příklad lineárního pohybu

**Mvc <Start point>, <Transmit point 1>, <Transmit point 2>**

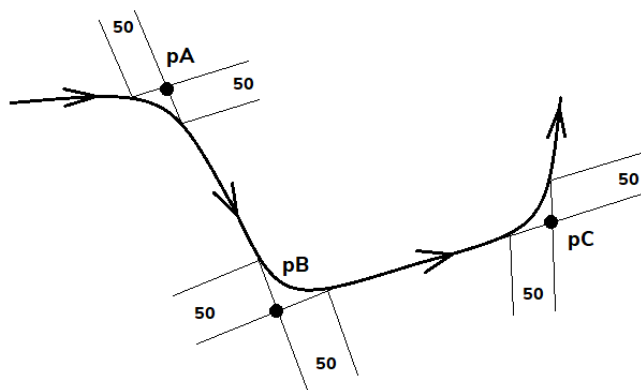
Jedná se o pohyb po kružnici. Tento pohyb je definován třemi body v prostoru. Skládá se z výchozího bodu <Start point> a dvou průchozích bodů.

*Příklad: Mvc pA, pB, pC*



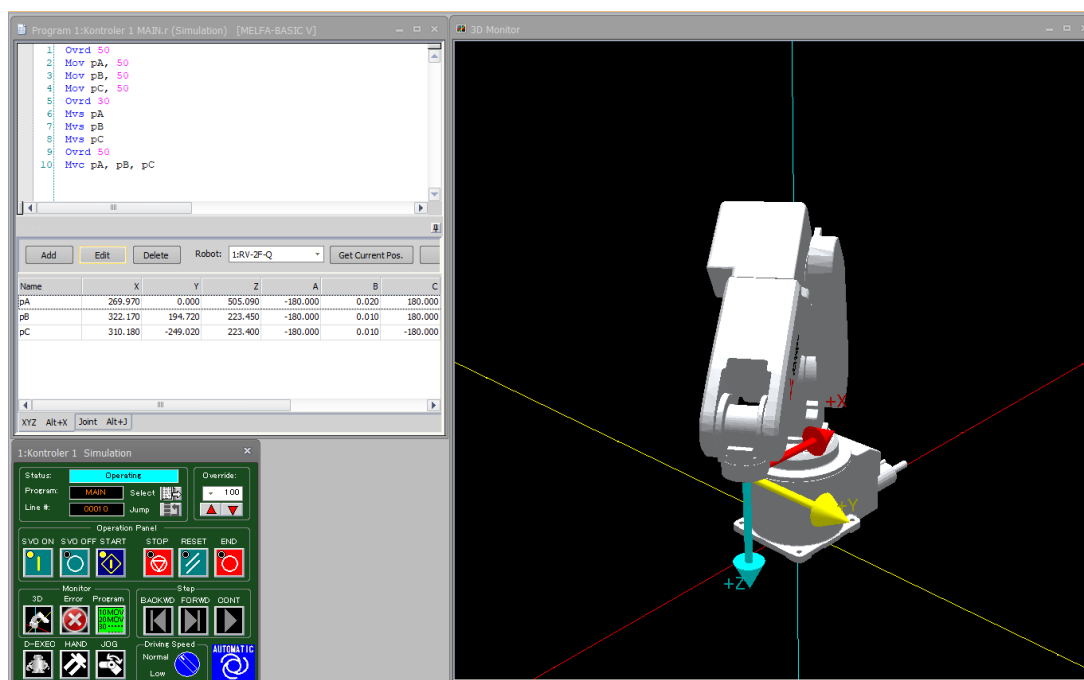
Obrázek 40 - Příklad pohybu po kružnici

Na obrázku 42 je vidět testovací kód robota, který využívá výše popsané instrukce. Pro nastavování rychlosti robota se používá instrukce *Ovrd <Speed>*, kde <Speed> je procentuální hodnota rychlosti vzhledem k nominální rychlosti robota. V první části (řádek 2-4) je použita instrukce *Mov* pro jointový pohyb a odchylka od bodu 50 mm. Výsledný pohyb vypadá přibližně takto:



Obrázek 41 - Pohyb s odchylkou

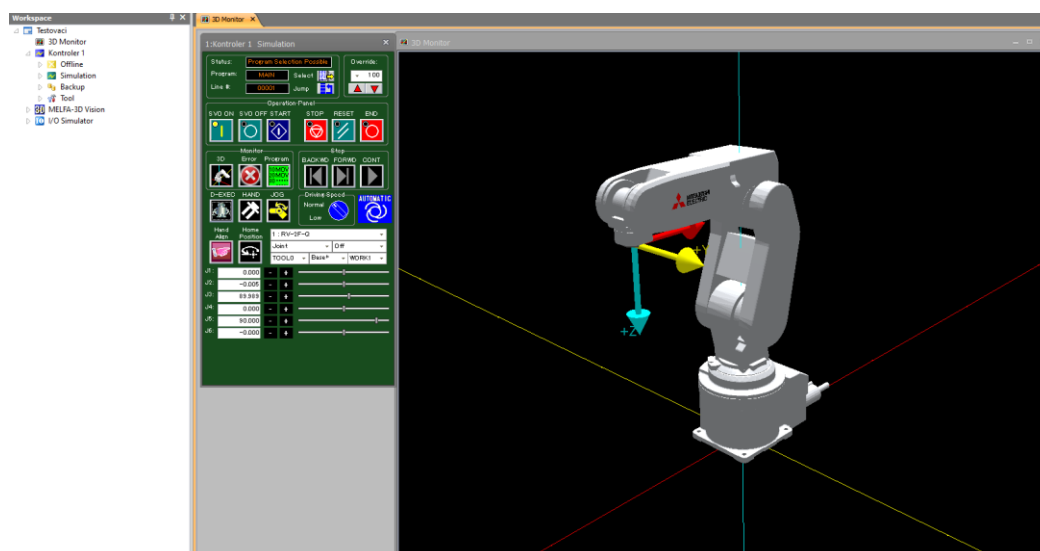
Na řádcích 6-8 jsou použity instrukce Mvs pro lineární pohyb a na řádku 10 instrukci Mvc pro pohyb po kružnici.



Obrázek 42 - Simulace v RT Toolbox3

### Simulační režim

Napsaný kód je možno otestovat v simulačním režimu. Simulační režim je spuštěn stiskem tlačítka „Simulator“ na horním panelu. Je zobrazen 3D model robota společně s emulátorem teachpendantu.



Obrázek 43 - Okno simulace

Pomocí emulátoru je možno pohybovat se simulovaným robotem stejně jako s reálným.



Obrázek 44 - Okno emulátoru

- 1 - Zde je vidět status, ve kterém se momentálně robot nachází, program, který má nahráný v paměti a číslo řádku, který právě vykonává. Pomocí tlačítka „Select“ je možno vybrat program, který má být nahrát do paměti a tlačítkem „Jump“ přeskakovat jednotlivé řádky.
- 2 - Těmito tlačítky je možno nastavovat celkovou rychlost robota v %.
- 3 - Tento panel slouží k zapínání a vypínání servomotorů robota. Dále jsou zde pak tlačítka pro spuštění, zastavení a reset programu.
- 4 - Tato sada tlačítek slouží k:
  - 3D – zobrazení nebo zavření okna 3D modelu
  - ERROR – zobrazení okna chybových hlášek
  - Program – zobrazení okna s kódem programu
  - D-EXEC – zobrazení okna pro přímé zadání instrukce do robota

- HAND – ovládání nástroje robota
  - JOD – manuální pohyb robota
- 5 - Sada tlačítek pro debugging programu
- 6 - Tlačítko „*Hand Aling*“ pro srovnání robota a „*Home Position*“ pro okamžitý přejezd robota do výchozí pozice
- 7 - Ovládací tlačítka pohybu robota, resp. nástroje. Závisí na zvoleném tlačítku ze sekce 4

Pokud je kód odzkoušený v simulaci a vývojové prostředí je připojeno k reálnému robotu pomocí komunikačního rozhraní, které bylo definováno dříve, je možné kód nahrát a odzkoušet na reálném robotu. Provádí se to tím způsobem, že je v okně projektu zvolen v záložce Program kód, který má být nahrán do robota a po stisku pravého tlačítka myši na něm je zvolena možnost „*Transfer all to the Controller*“. Poté je možné, stejně jako u simulace, přejít do online módu robota stiskem tlačítka „*Online*“ v horní liště a pracovat s reálným robotem.

### 3.6 Návrh řídicí aplikace robota

V demonstrační aplikaci se pracuje se dvěma robotickými rameny. První rameno RV-2F-Q je šestiosý manipulátor a je použit pro zakládání a vykládání dílů na paletu v předávací pozici na dopravníku. Druhé rameno RH-3FH-Q je čtyřosý manipulátor a v aplikaci slouží k třídění dílů po kamerové kontrole, tzn. umísťuje díly do OK nebo NOK zásobníku, nebo je z nich odebírá při vyprazdňování stroje. První rameno RV-2F-Q je řízeno pomocí řídicí jednotky Q172DRCPU, druhé rameno RH-3FH-Q kontrolérem CR750-Q. Hierarchicky jsou obě ramena podřízena řídicímu PLC, které je v této aplikaci Master a zajišťuje řízení celé aplikace.

#### 3.6.1 Robot 1

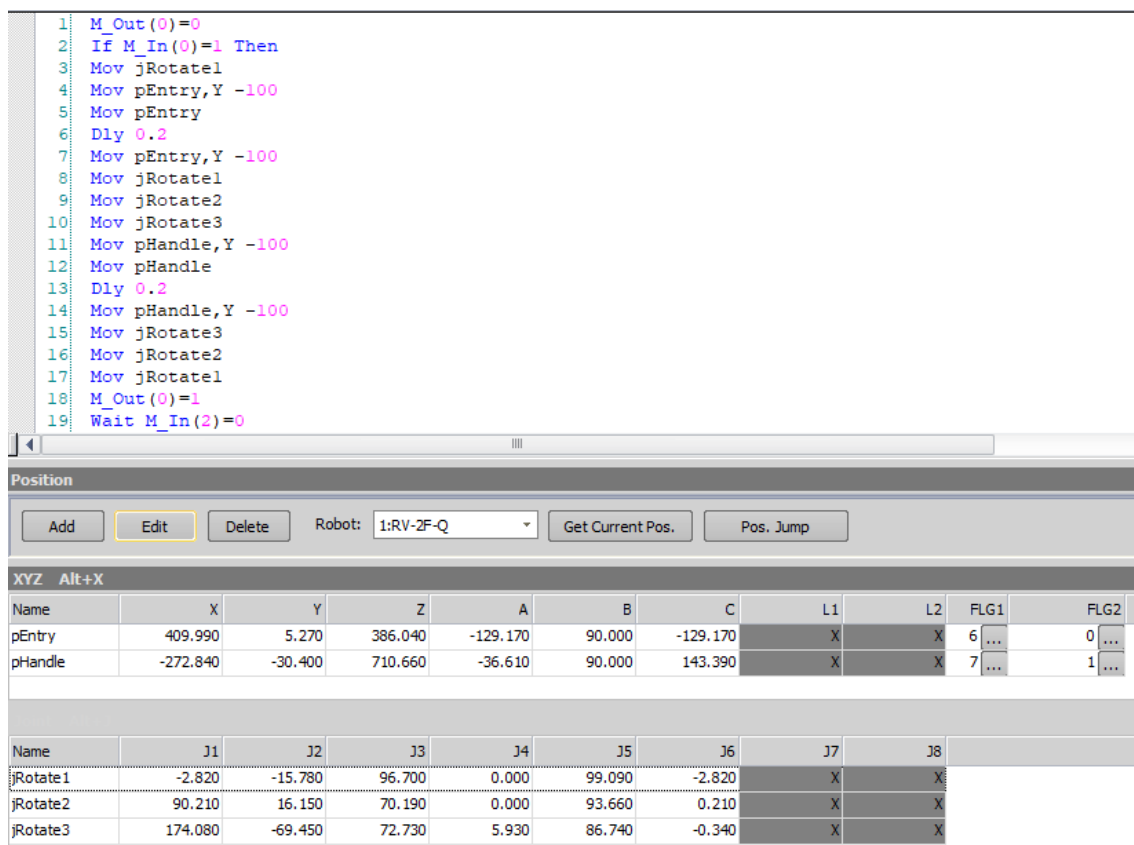
První robot, šestiosý, má naprogramováno 5 poloh.

- pEntry – zakládací pozice pro díly
- pHandle – předávací pozice v paletě na karuselu
- jRotate1 – první jointová poloha pro otočení robota
- jRotate2 – druhá jointová poloha pro otočení robota
- jRotate3 – třetí jointová poloha pro otočení robota

V programu jsou dva základní úkony.

- Přemístění dílu ze zakládací pozice do palety na karuselu.
- Přemístění z karuselu do zakládací pozice.

K volání těchto úkonů slouží vstupy z PLC. Robot zároveň po dokončení úkonu dává informaci PLC, že je dokončeno a čeká na potvrzení od PLC, že tuto informaci dostalo. Tímto je zajištěno, že PLC má v každém okamžiku přehled o stavu robota.



Obrázek 45 - Definice pozic Robot 1

Na obrázku je vidět definice pozic a kód robota. Kompletní výpis programu je možné nalézt v příloze.

### 3.6.2 Robot 2

Druhý robot, čtyřosý, má naprogramováno 5 poloh.

- pHome – výchozí a zároveň průjezdová pozice mezi ostatními body
- pNOK – pozice nad NOK zásobníkem
- pOK – pozice nad OK zásobníkem
- pPaletteCam – pozice na paletě před kamerovou kontrolou
- pPaletteHandle – předávací pozice v paletě na karuselu

Na rozdíl od prvního robota, kde jsou pouze dva úkony, zde jsou úkony čtyři.

- Přemístění dílu z palety před kamerou do OK zásobníku.
- Přemístění dílu z palety před kamerou do NOK zásobníku
- Přemístění dílu z OK zásobníku do předávací pozice na karuselu.
- Přemístění dílu z NOK zásobníku do předávací pozice na karuselu.

Volání těchto úkonů je opět pomocí vstupů z PLC a robot zpětně předává informaci o dokončení.

1	M_Out(0)=0
2	If M_In(0)=1 Then
3	Mov pHome
4	Mov pPaletteCam,Z +50
5	Mov pPaletteCam
6	Dly 0.2
7	Mov pPaletteCam,Z +50
8	Mov pOK,Z +50
9	Mov pOK
10	Dly 0.2
11	Mov pOK,Z +50
12	Mov pHome
13	M_Out(0)=1
14	Wait M_In(4)=0
15	M_Out(0)=0
16	EndIf

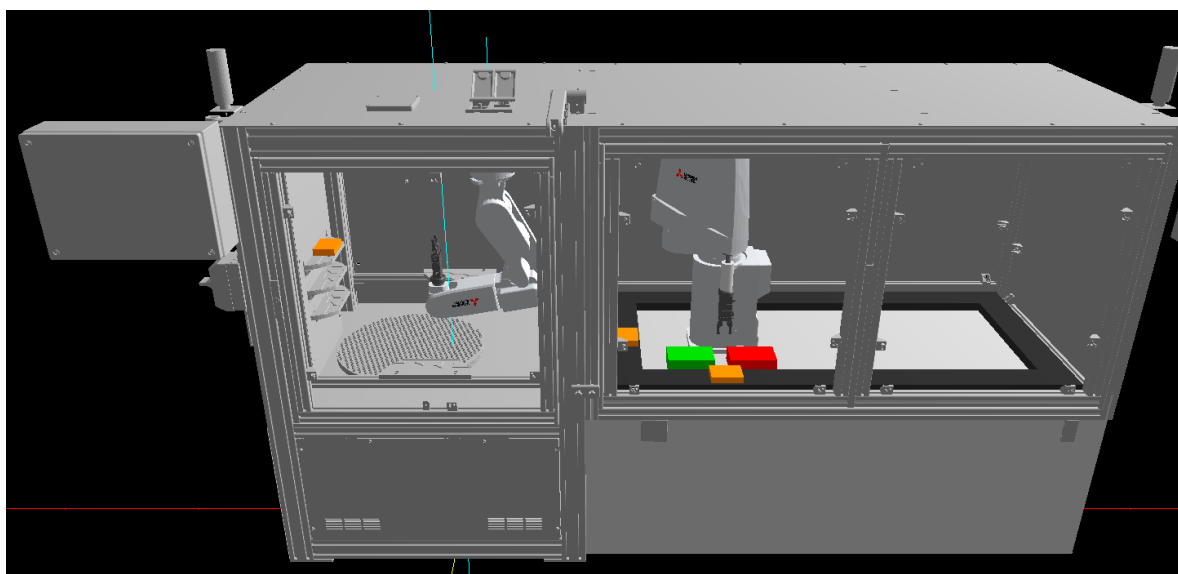
  

Position										
Add		Edit		Delete		Robot:	1:RH-3FH3515-Q	Get Current Pos.		Pos. Jump
Name	X	Y	Z	A	B	C	L1	L2	FLG1	FLG2
pHome	170.000	0.000	365.000	0.000	0.000	0.000	X	X	4 ...	0 ...
pNOK	170.000	100.000	305.000	0.000	0.000	0.000	X	X	4 ...	0 ...
pOK	170.000	-100.000	305.000	0.000	0.000	0.000	X	X	4 ...	0 ...
pPaletteCam	300.000	0.000	305.000	0.000	0.000	0.000	X	X	4 ...	0 ...
pPaletteHandle	0.000	-300.000	305.000	0.000	0.000	-90.000	X	X	4 ...	0 ...

Obrázek 46 - Definice pozic Robot 2

Na obrázku je vidět definice pozic a kód robotu. Kompletní výpis programu je možné nalézt v příloze.

Rozložení robotů a jednotlivých pozic je zobrazeno na následujícím obrázku.



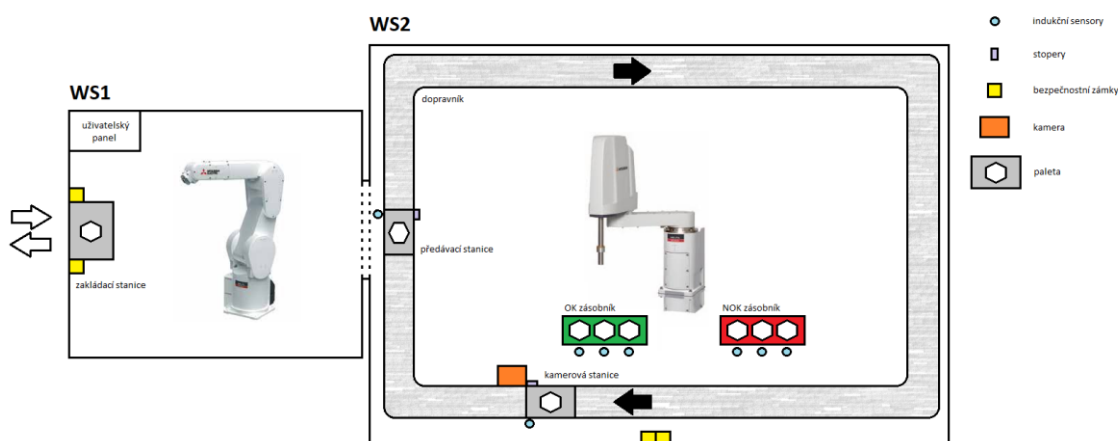
Obrázek 47 - Rozložení robotů

## 4 Návrh a realizace řídicí aplikace pro další subsystémy robotického pracoviště

Aplikace robotického pracoviště je rozdělena do tří subsystémů:

- Uživatelské rozhraní
- PLC část
- Robotická část

Robotická část aplikace je popsána v kapitole 3. V této kapitole je popsán návrh uživatelského rozhraní a PLC části aplikace.



Obrázek 48 - Schéma robotického pracoviště

Na obrázku 48 je zobrazeno schéma robotického pracoviště.

### 4.1 Návrh uživatelského rozhraní aplikace robotického pracoviště

Uživatelské rozhraní slouží ke komunikaci mezi strojem a operátorem. Umožňuje řízení aplikace zadáváním vstupních dat a zobrazováním stavů stroje. V této demonstrační aplikaci bylo uživatelské rozhraní vytvořeno v programu GT Designer3, který slouží k programování operátorských panelů od společnosti Mitsubishi.

V aplikaci je použit operátorský panel GOT 2710, jehož parametry jsou popsány v kapitole 1. Po mocí programu GT Designer3 můžeme vkládat na panel grafické prvky sloužící k ovládání stroje, nebo k indikaci jeho stavu. Mezi základní grafické prvky patří:



Switch – tlačítko



Lamp – indikátor



Numerický vstup/výstup



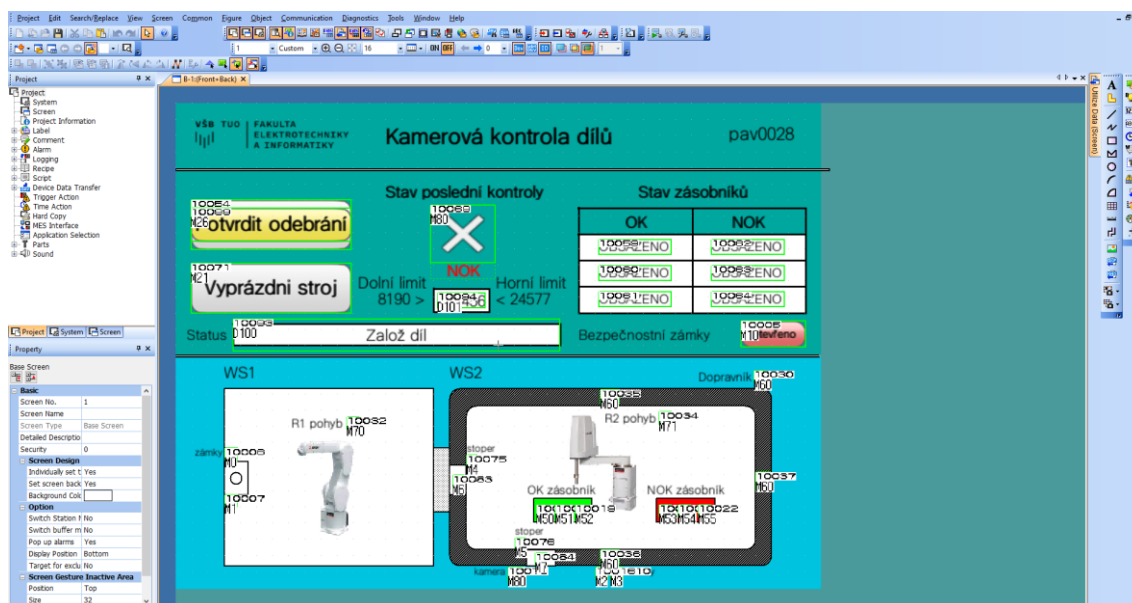
Textový vstup/výstup



Zobrazení data/času

Dále jsou k dispozici různé dekorační prvky jako jsou čáry, geometrické obrazce, tabulky, textové popisky, možnost vložení obrázků apod.

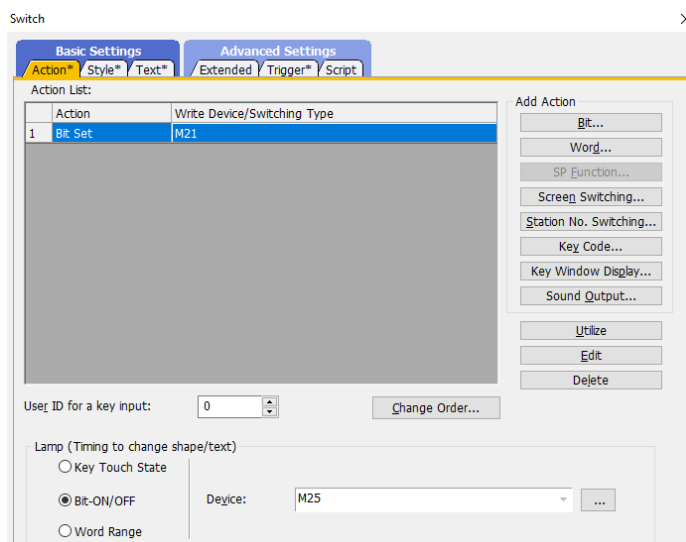
Pro demonstrační aplikaci bylo vytvořeno následující uživatelské rozhraní.



Obrázek 49 - Návrh uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní bylo rozděleno na dvě části. V první části, se zeleným pozadím, jsou umístěny ovládací tlačítka pro vkládání dílů, spuštění vyprázdnění stroje a potvrzení odebrání dílu. Dále pak indikace výsledku kamerové kontroly, stav zaplnění zásobníků a status panel. Ve druhé části, s modrým pozadím, je umístěn náčrt pracoviště, do kterého byly umístěny grafické prvky indikující aktuální stav jednotlivých částí.

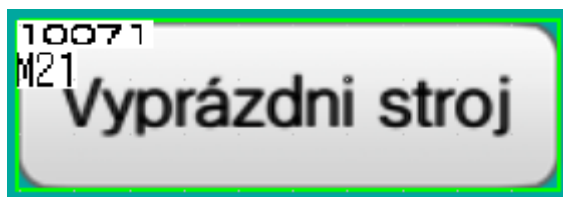
Každému grafickému prvku je možno měnit jeho parametry a tím měnit jeho chování. Například u prvku Switch (tlačítko) můžeme měnit jeho chování po stisku, navázat tlačítko na některou z proměnných, nebo měnit jeho vzhled a popis.



Obrázek 50 - Parametrizace prvku Switch

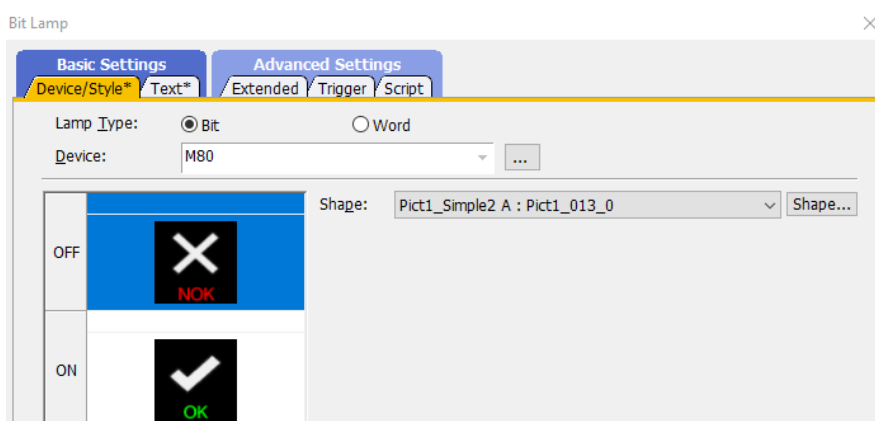


Po přiřazení proměnné grafickému prvku se potom tato proměnná zobrazí pod identifikačním číslem prvku.



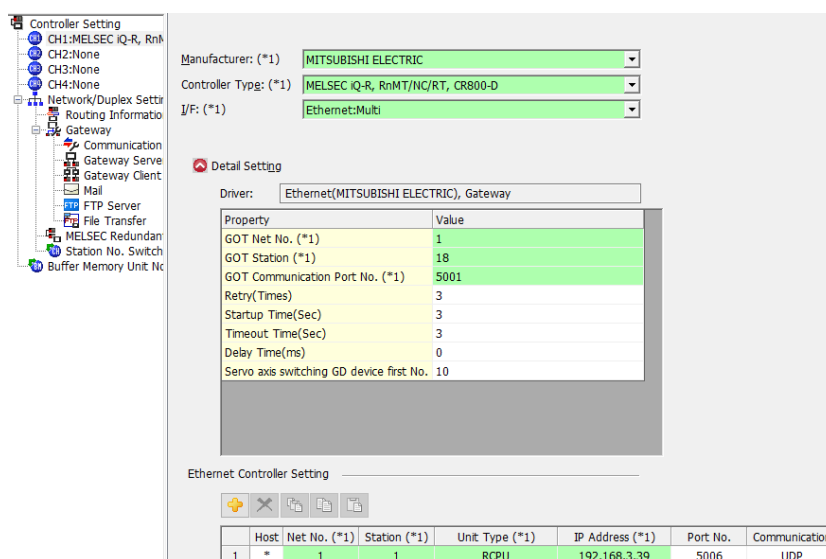
Obrázek 51 - Prvek s přiřazenou proměnnou

U prvku typu Lamp (indikátor) je možné taktéž měnit parametry a přiřadit proměnnou. Při bitové vstupní proměnné je nejčastěji nastavován vzhled prvku v závislosti na vstupu. Tímto je možné indikovat například stav snímačů a podobně.



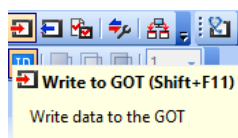
Obrázek 52 - Parametrizace prvku Lamp

Prvkům jsou přiřazovány proměnné z nadřazeného PLC. Komunikace s PLC je definována v nastavení operátorského panelu. Podle typu panelu je možné jedním rozhraním obsloužit několik zařízení. V demonstrační aplikaci je využito připojení k jednomu PLC, nicméně operátorský panel GOT 2710 umožňuje připojení až ke čtyřem zařízením.



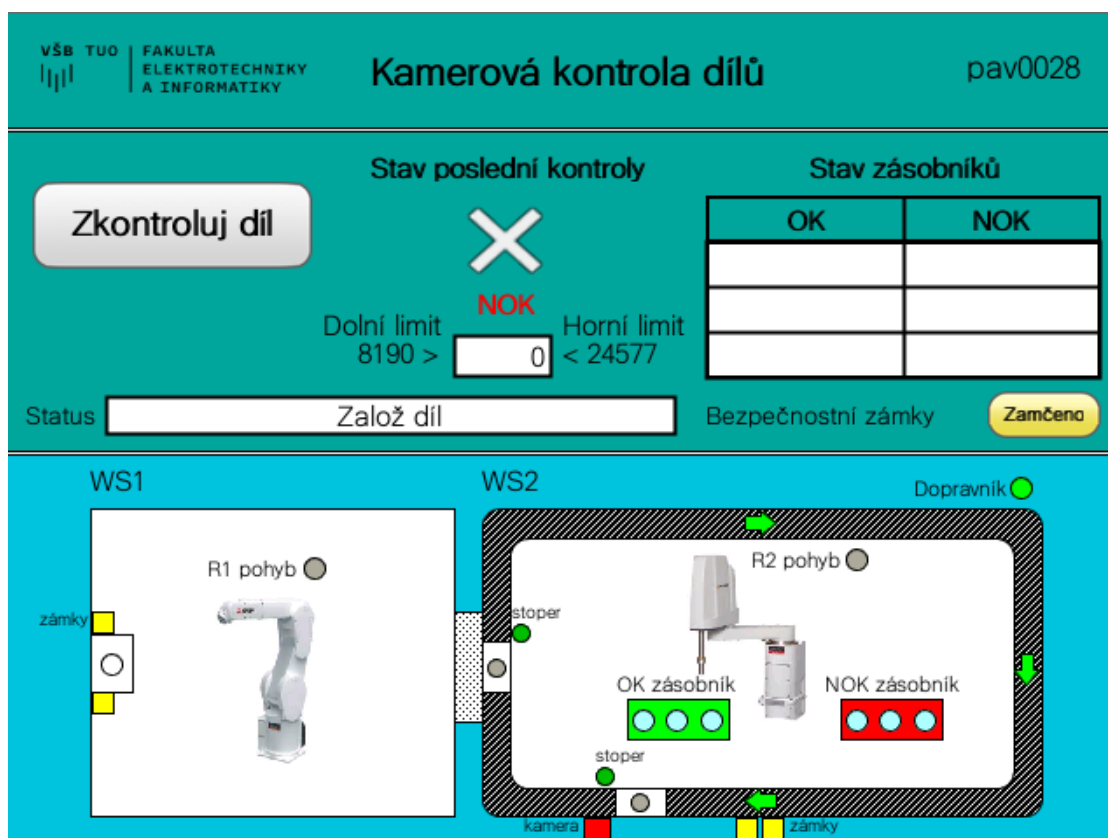
Obrázek 53 - Konfigurace připojení GOT 2710

V momentě, kdy je vytvořené grafické rozhraní, je nutné jej nahrát do reálného operátorského panelu. Toto se provádí pomocí tlačítka „Write to GOT“ na ovládací liště GT Designer3.



Obrázek 54 - Nahrání grafického rozhraní do GOT 2710

Výsledné navržené uživatelské rozhraní vypadá následovně.



Obrázek 55 - Uživatelské rozhraní aplikace

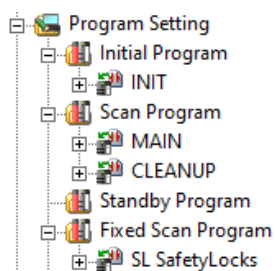
## 4.2 Návrh PLC řídicí aplikace robotického pracoviště

Hlavním řídicím prvkem pracoviště je PLC Mitsubishi s CPU modulem Q03UDVCPU. K programování tohoto PLC se používá program GX Works2 od společnosti Mitsubishi. V současné době je již k dispozici nová verze tohoto programu s označením GX Works3, nicméně použité PLC je staršího typu, a tudíž programování v nové verzi nepodporuje. PLC aplikace je napsána v jazyce „Ladder“, který se běžně využívá pro programování PLC.

Projekt se skládá z několika programů, které jsou spouštěny v závislosti na jejich přiřazení do programové kategorie. Tyto kategorie jsou následující.

- Initial program – Tyto programy se spouští pouze jednou při startu PLC. Využívají se klasicky pro inicializaci zařízení, navázání komunikace s jednotlivými subsystemy a nastavení výchozích hodnot proměnných.

- Scan program – Do této kategorie spadají programy, které jsou vykonávány cyklicky, s předem nedefinovanou dobou trvání cyklu. Klasicky tady spadají hlavní programy PLC.
- Standby program – Tyto programy jsou spuštěny až na základě volání z jiné části PLC aplikace.
- Fixed Scan Program – Do této kategorie patří programy, u kterých je vyžadována přesná doba cyklu. Tuto dobu je možné definovat v parametrech programu.



*Obrázek 56 - Kategorie PLC programů*

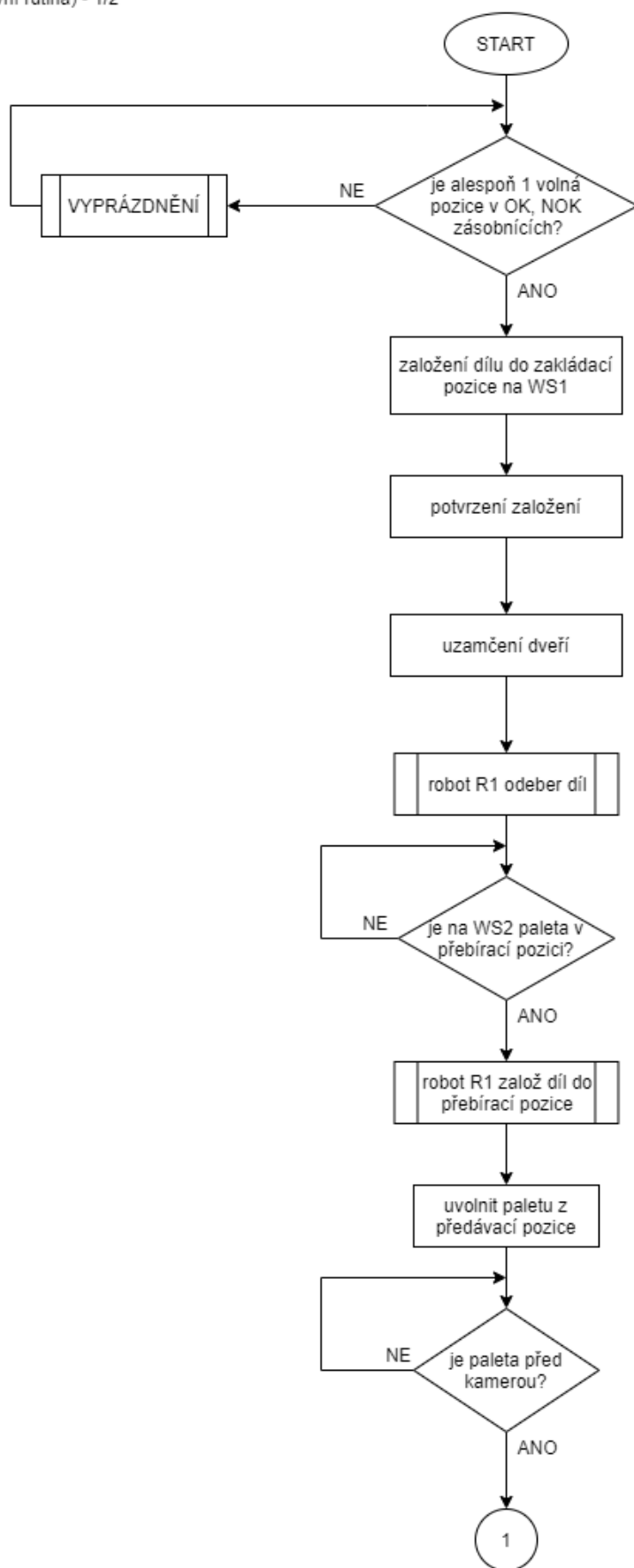
V demonstrační aplikaci jsou použity čtyři programy.

#### 4.2.1 Programy „INIT“ a „SL SafetyLocks“

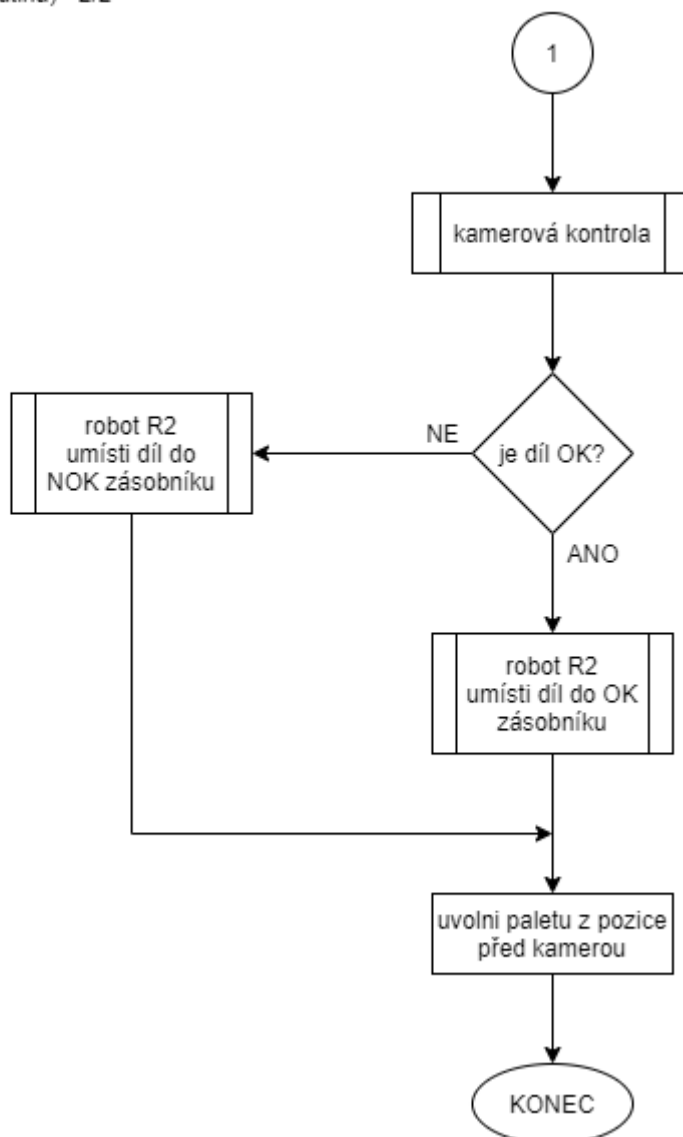
Program „INIT“ slouží k nastavení výchozích hodnot proměnných a spadá do kategorie Initial Program. Program „SL SafetyLocks“ je program kategorie Fixed Scan Program s cyklem 100 ms a zajišťuje kontrolu bezpečnostních zámků stroje.

#### 4.2.2 Program „MAIN“

Tento program zajišťuje chod stroje v případě, že běží v režimu vkládání dílů a následné kamerové kontrole. Běh programu znázorňuje diagram na obrázcích 57 a 58.



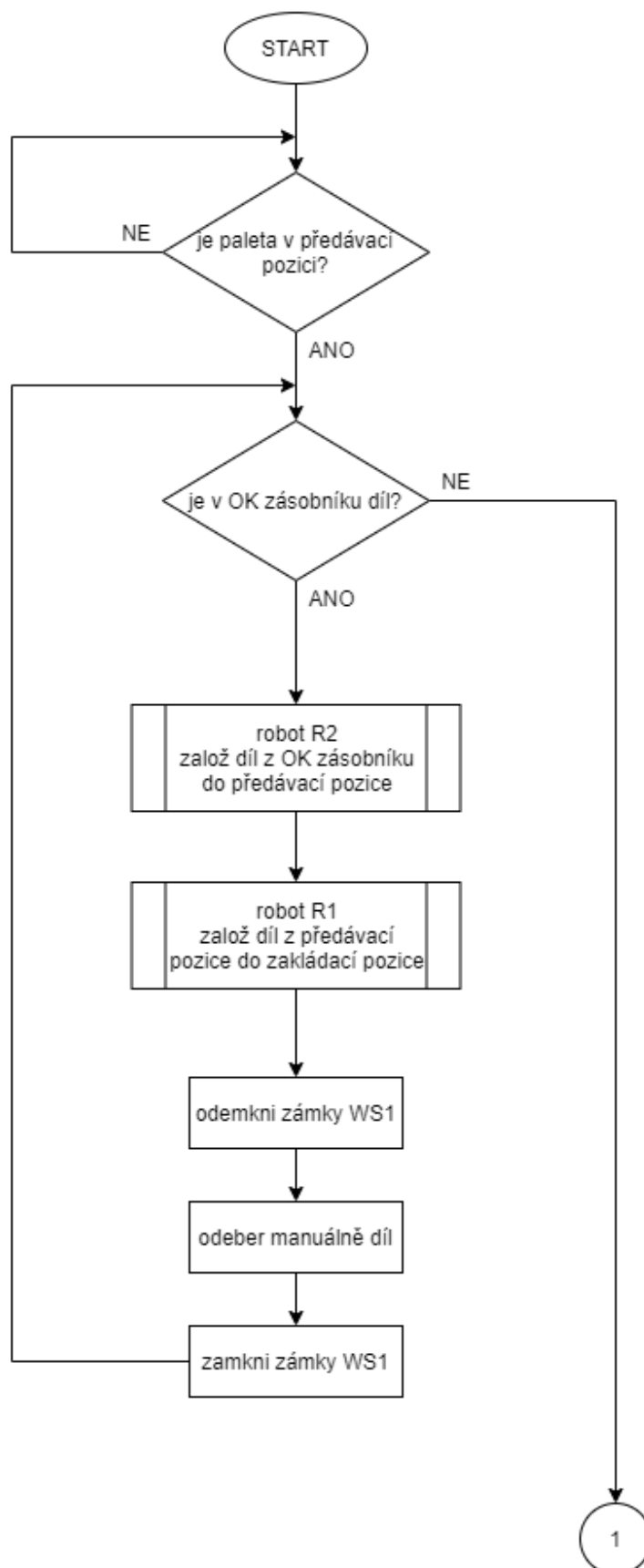
Obrázek 57 - Diagram – hlavní rutina



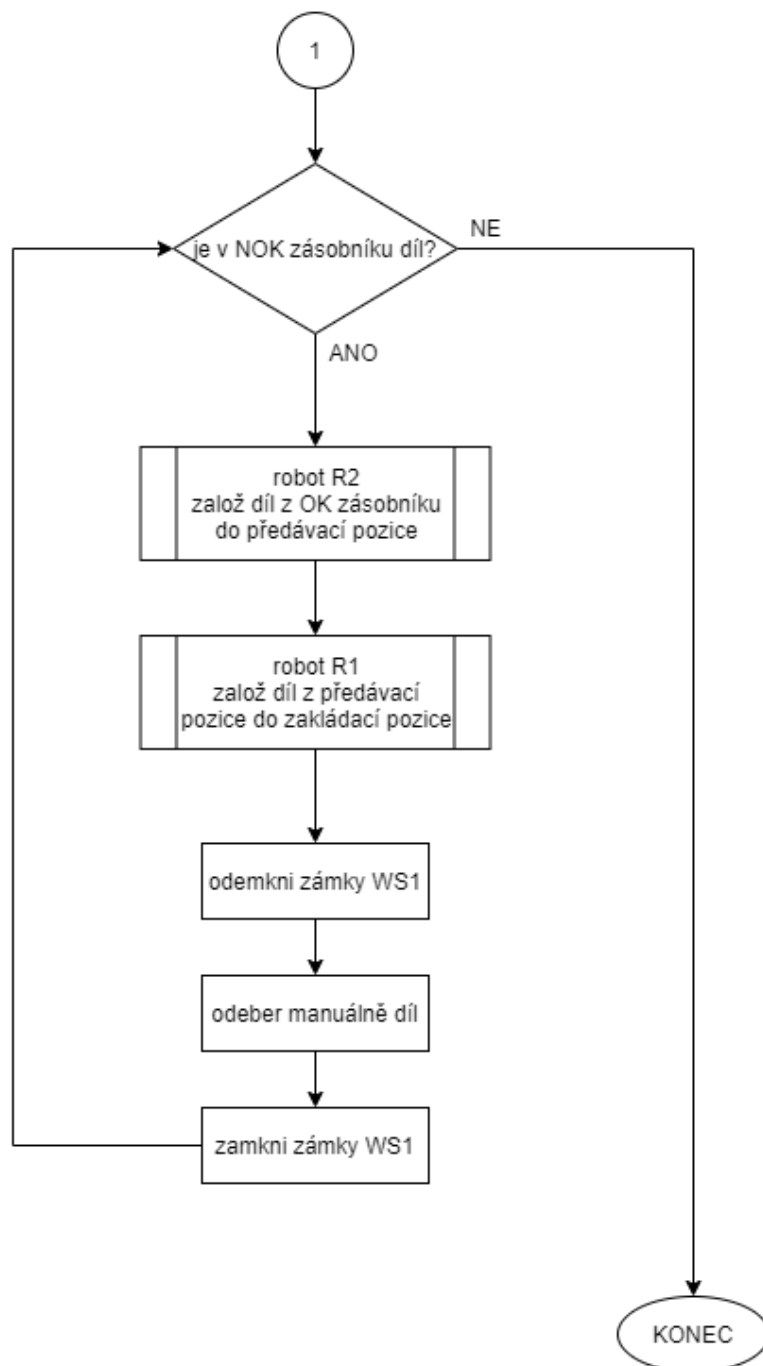
Obrázek 58 - Diagram – hlavní rutina – pokračování

#### 4.2.3 Program „CLEANUP“

Program „CLEANUP“ zajišťuje vyprázdnění stoje v případě, že dojde k zaplnění jednoho ze zásobníků a není tudíž možné zakládat další díl. Běh programu znázorňuje diagram na obrázcích 59 a 60.



Obrázek 59 - Diagram – vyprázdnění stanice



Obrázek 60 - Diagram – vyprázdnění stanice – pokračování

Výpisy jednotlivých programů je možné nalézt v příloze.

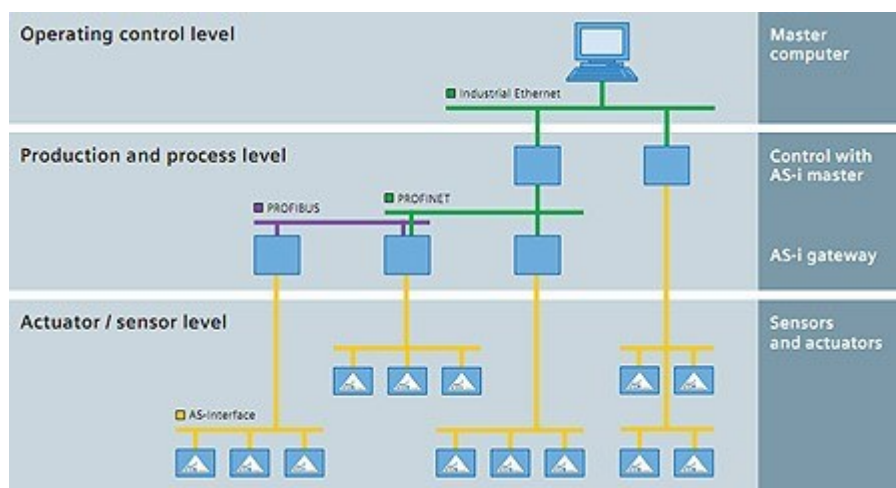
### 4.3 Zapojení signálů

Na pracovišti WS1 je zapojení signálů následující:

Tabulka 4 - Signály QX80 a QY80

QX80		QY80	
X00	RESET 24 V	Y00	ALARM
X01	Stykač měniče QA1_TA1 sepnut	Y01	Zajistit zásobník
X02	Jistič FC1_TA1 OK	Y02	Servo ON
X03	Rezerva	Y03	Servomotor pohyb vpřed
X04	Servomotor MA1 na pozici	Y04	Servomotor pohyb vzad
X05	Zásobník na pozici	Y05	Servomotor MA1 připraven
X06	Stykač měniče QA1_TA2 sepnut	Y06	Porucha robota
X07	Jistič FC1_TA2 OK	Y07	CHOD robota
X08	Zapnout robota R1	Y08	Vložit díl do zásobníku
X09	Vypnout robota R1	Y09	Hardwarový trigger
X0A	Rezerva	Y0A	Speed selection
X0B	Rezerva	Y0B	Forward rotation
X0C	Rezerva	Y0C	Reverse rotation
X0D	Rezerva	Y0D	Control common
X0E	Rezerva	Y0E	Rezerva
X0F	Rezerva	Y0F	DOG
n.c.	nezapojeno	COM	Napájení PLC karty
COM	Napájení PLC karty	0 V	Napájení PLC karty

Na stanici WS2 jsou signály zapojeny pomocí AS-i modulů. Sběrnice AS-Interface se používá k připojení sensorů a akčních členů k řídicímu systému. Její použití je vhodné u decentralizovaných systémů na vzdálenost až 600 m. Síť se skládá z masteru, napájecího zdroje a slave jednotek. Master řídí výměnu dat na sběrnici pomocí cyklického dotazování.



Obrázek 61 – AS-i sběrnice



### **Hlavní parametry AS-i**

- Až 62 slave zařízení
- Až 496 vstupů a 496 výstupů
- Nestíněné dvou vodičové vedení pro data i napájení
- Standardní délka sběrnice 100 m, s opakovači lze prodloužit až na 600 m
- Délka cyklu 5 ms
- Přenos digitálních i analogových dat

## 5 Testování funkčnosti robotického pracoviště

V předchozích kapitolách byla navržena aplikace pro automatický chod laboratorního pracoviště. V kapitole 2 byla definována funkcionality aplikace. Tato definice je využita při testování aplikace a ověřuje se, zda byly splněny všechny funkční požadavky na aplikaci.

### Požadavek:

Obsluha založí materiál do rotačního stolíku v základací části a na uživatelském panelu potvrdí založení dílu.

### Ověření:

Aplikace čeká na vložení dílu do základací pozice. Tento požadavek je indikován ve stavovém řádku informační hláškou „Založ díl“. Po vložení je spuštěna základací rutina pomocí tlačítka „Zkontroluj díl“



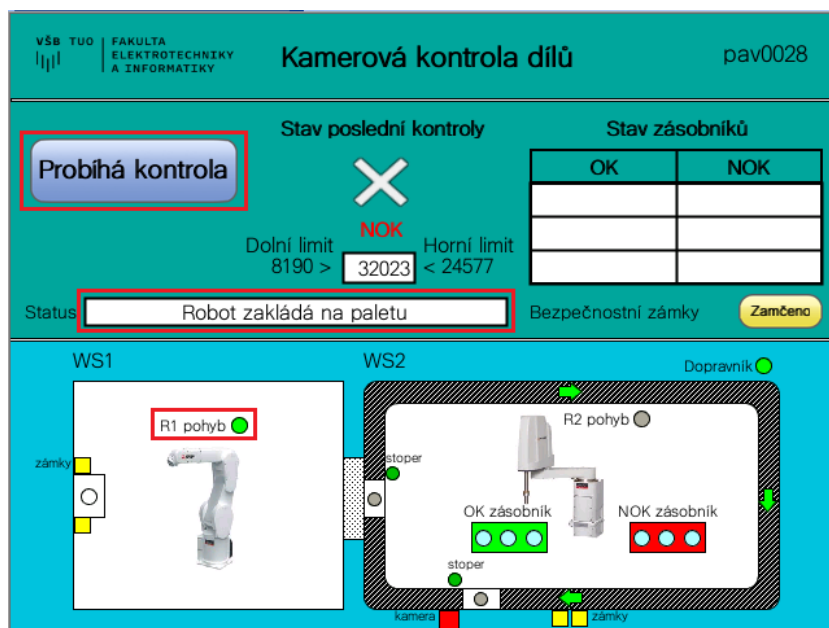
Obrázek 62 - Testování aplikace – Založení dílu

### Požadavek:

Robot odebere díl ze stolíku a umístí jej na připravenou paletku v třídící části.

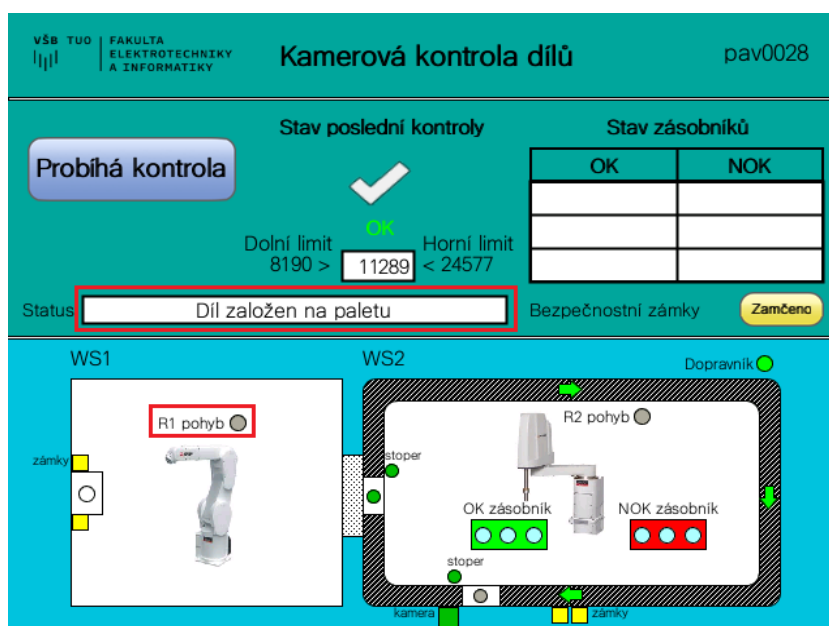
### Ověření:

Po spuštění základací rutiny se rozsvítí indikátor pohybu robota, robot zakládá díl na paletu. Stavový řádek zobrazí „Robot zakládá na paletu“. Aby nedošlo k několikanásobnému spuštění základací rutiny, změní se tlačítko pro založení dílu na „Probíhá kontrola“. Toto je aktivní do ukončení cyklu zakládání.



Obrázek 63 - Testování aplikace –Robot zakládá na paletu

Po založení dílu na paletu se rozsvítí indikátor dílu na paletě v předávací pozici a zároveň zhasne indikátor pro pohyb robota 1. Stavový řádek zobrazí „Díl založen na paletu“.



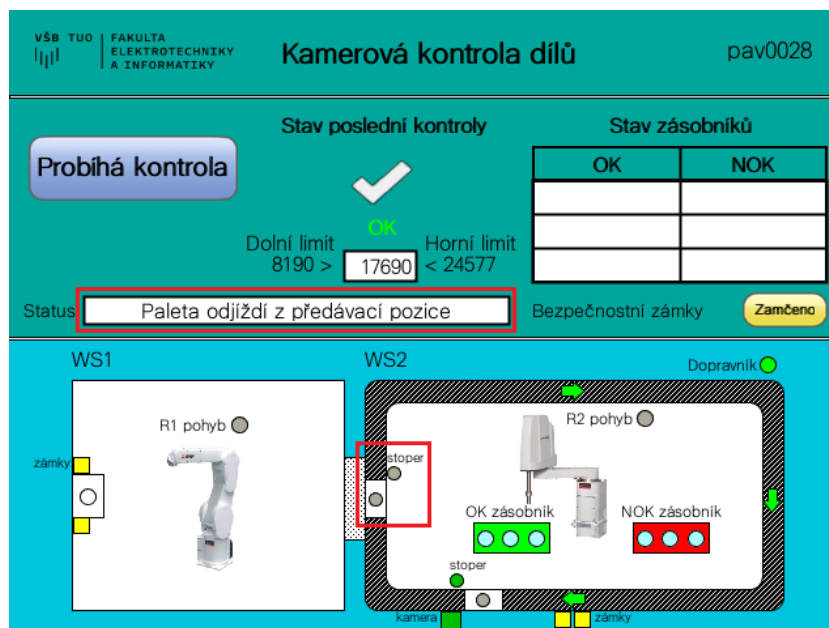
Obrázek 64 - Testování aplikace –Díl založen na paletu

#### Požadavek:

Paletka putuje na dopravníku přes jednotlivá inspekční stanoviště, a nakonec je po vyhodnocení stavu dílu díl umístěn SCARA robotem do OK nebo NOK zásobníku.

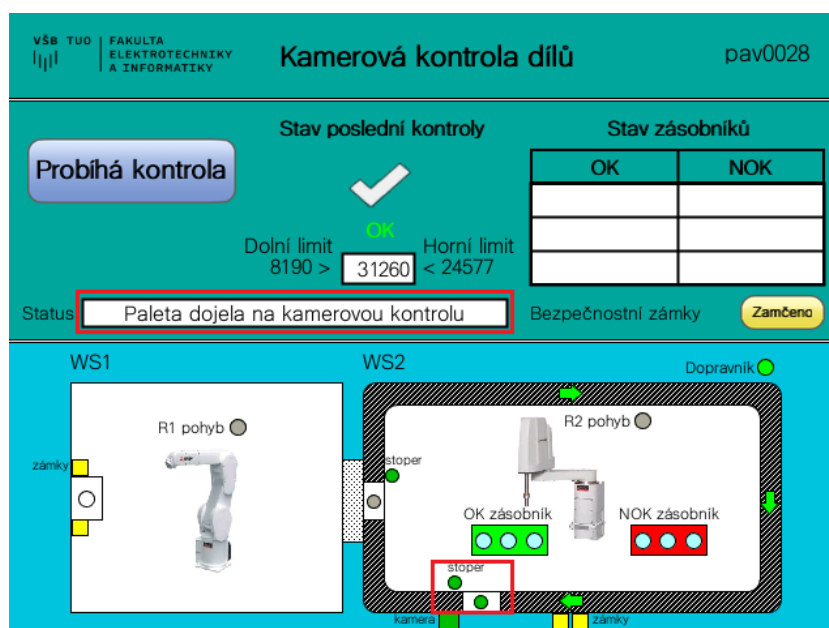
#### Ověření:

Paleta odjede z předávací pozice. Toto je indikováno stavovým řádkem s textem „Paleta odjíždí z předávací pozice“ a zároveň uvolněním stoperu na předávací pozici. Zhasne také indikace přítomnosti dílu na paletě v předávací pozici.



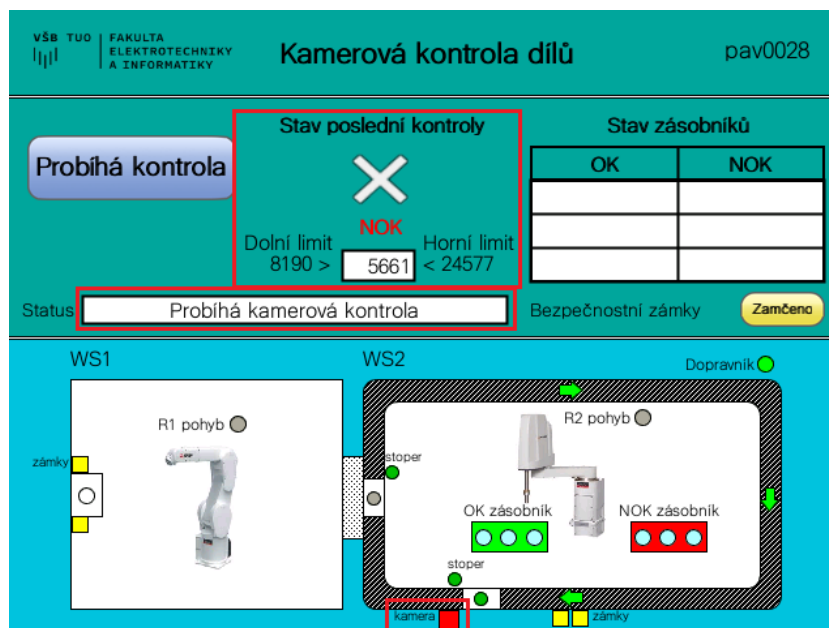
Obrázek 65 - Testování aplikace –Paleta odjíždí z předávací pozice

Paleta přijíždí na kamerovou kontrolu. Toto je signalizováno rozsvícením indikátoru přítomnosti dílu v kamerové pozici a také ve stavovém řádku textem „Paleta došla na kamerovou kontrolu“. Zároveň je aktivní stoper na kamerové pozici.



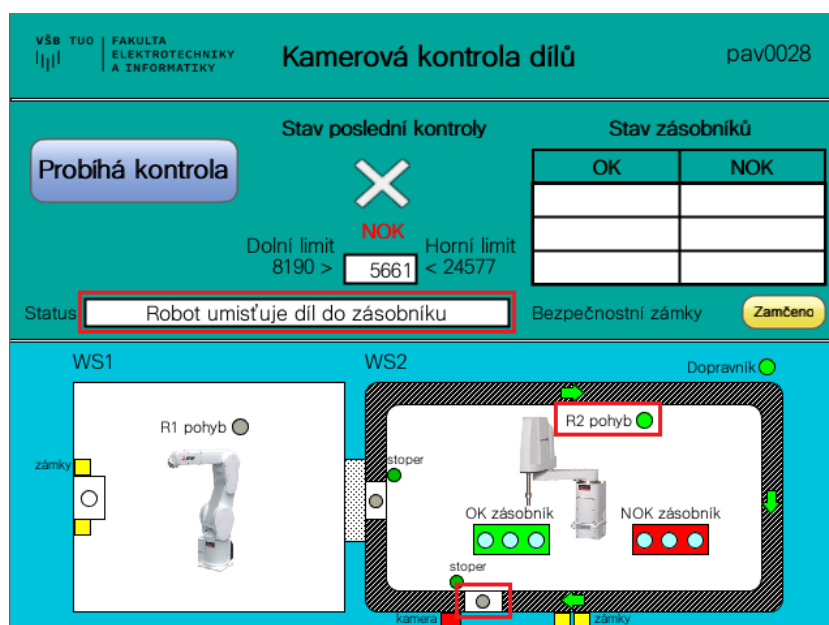
Obrázek 66 - Testování aplikace –Paleta došla na kamerovou kontrolu

Následuje kamerová kontrola. Stavový řádek zobrazí text „Probíhá kamerová kontrola“. Výsledek kamerové kontroly je možné vyčíst jednak z indikátoru v horní polovině uživatelského rozhraní, tak i v diagramu pomocí zeleného, nebo červeného čtverce v závislosti na výsledku kontroly.



Obrázek 67 - Testování aplikace –Probíhá kamerová kontrola

Robot následně dle výsledku kontroly umístí díl do OK nebo NOK zásobníku. Stavový řádek zobrazí „Robot umísťuje díl do zásobníku“. Zároveň zhasne indikátor přítomnosti dílu na paletě v kamerové pozici.



Obrázek 68 - Testování aplikace –Robot umísťuje díl do zásobníku

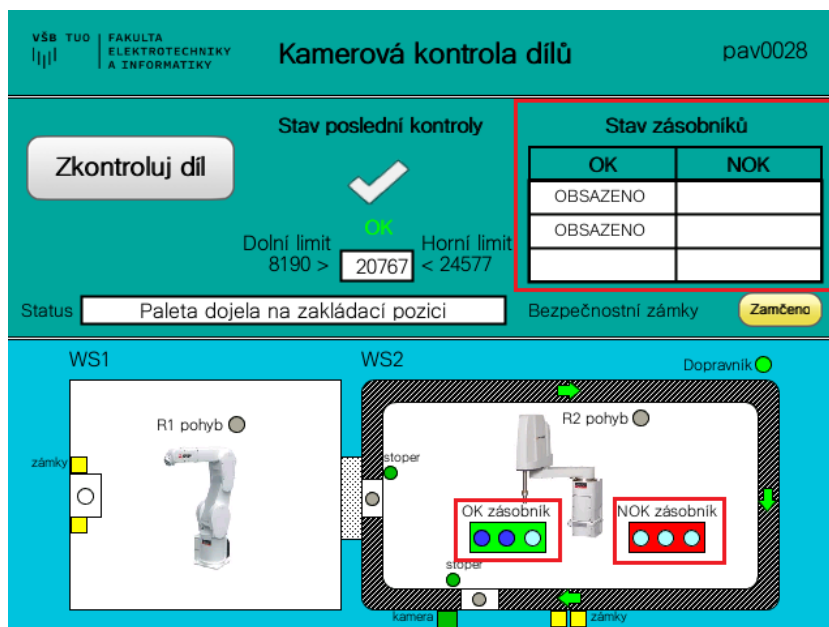
#### Požadavek:

Systém má přehled o zaplnění jednotlivých zásobníků.

#### Ověření:

Systém hlídá stav zaplnění zásobníků proto, aby nedošlo k situaci, kdy bude probíhat kontrola a jeden, nebo oba zásobníky budou plné a nebude tudíž možno díl založit. Stav zásobníků je možné

vidět v horní části uživatelského rozhraní v tabulce „Stav zásobníků“ a zároveň v diagramu za pomoci indikátorů.



Obrázek 69 - Testování aplikace –Stav zásobníků

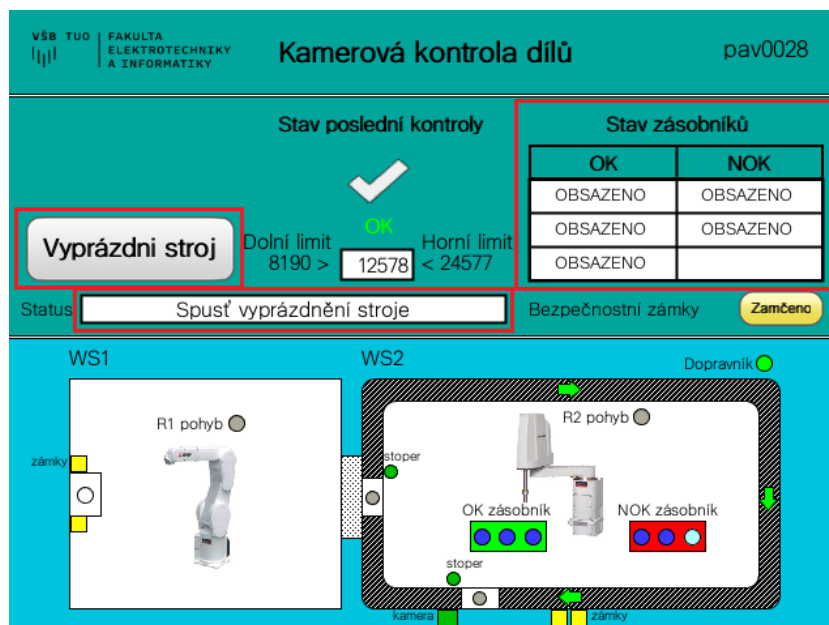
#### Požadavek:

Toto je opakováno do stavu, kdy dojde k zaplnění jednoho ze zásobníků.

Systém poté znemožní zakládání dalšího materiálu do pracoviště a vyzve obsluhu k vyprázdnění stroje.

#### Ověření:

V momentě, kdy je alespoň jeden ze zásobníků zaplněn, systém znemožní založení dalšího dílu. Stavový řádek zobrazí text „Spust' vyprázdnění stroje“ a systém čeká na spuštění vyprazdňování. Vyprázdnění je spuštěno stiskem tlačítka „Vyprázdní stroj“.



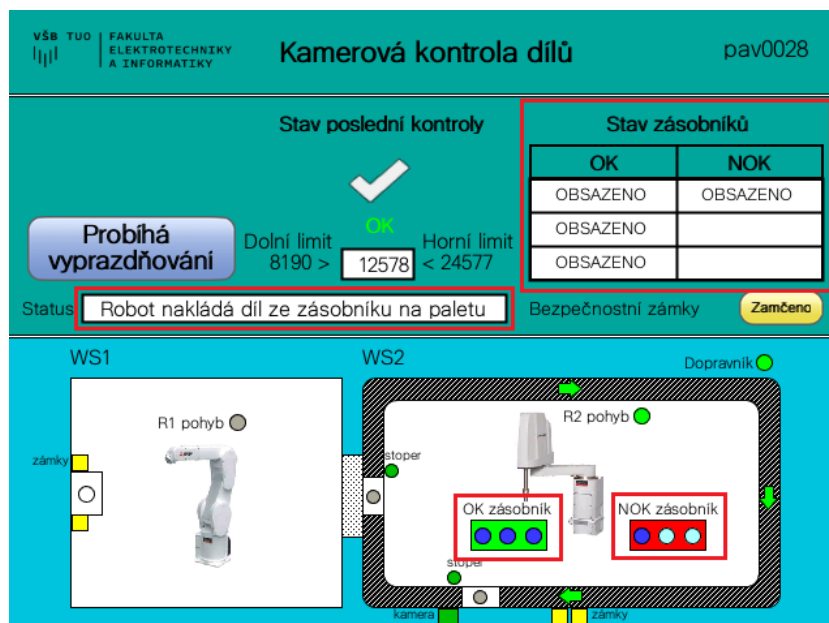
Obrázek 70 - Testování aplikace –Spuštění vyprázdňení stroje

#### Požadavek:

Po potvrzení SCARA robot po jednom kuse předává materiál z plného zásobníku zpět do vstupní části, kde jej přebírá robot a umísťuje jej na rotační stolík.

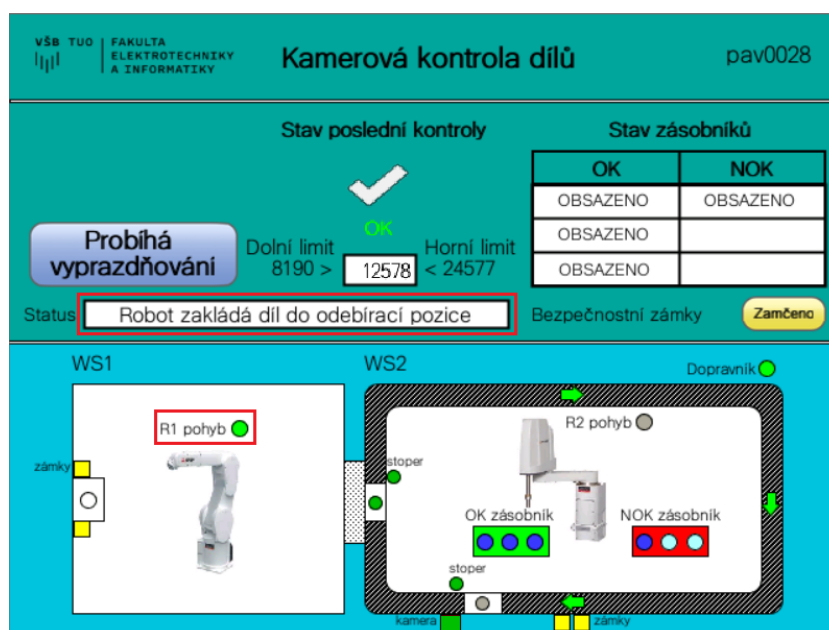
#### Ověření:

Po spuštění vyprazdňování začne robot 2 nakládat díly do předávací pozice. Tlačítko pro spuštění vyprázdňení změní svůj stav na „Probíhá vyprazdňování“. Vyprazdňování začíná od poslední zaplněné pozice v NOK zásobníku a končí první pozicí v OK zásobníku. Po odebrání dílu zhasínají příslušné indikátory v tabulce a diagramu. Stavový řádek zobrazí text „Robot nakládá díl ze zásobníku na paletu“.



Obrázek 71 - Testování aplikace –Robot 2 vyprazdňuje zásobníky

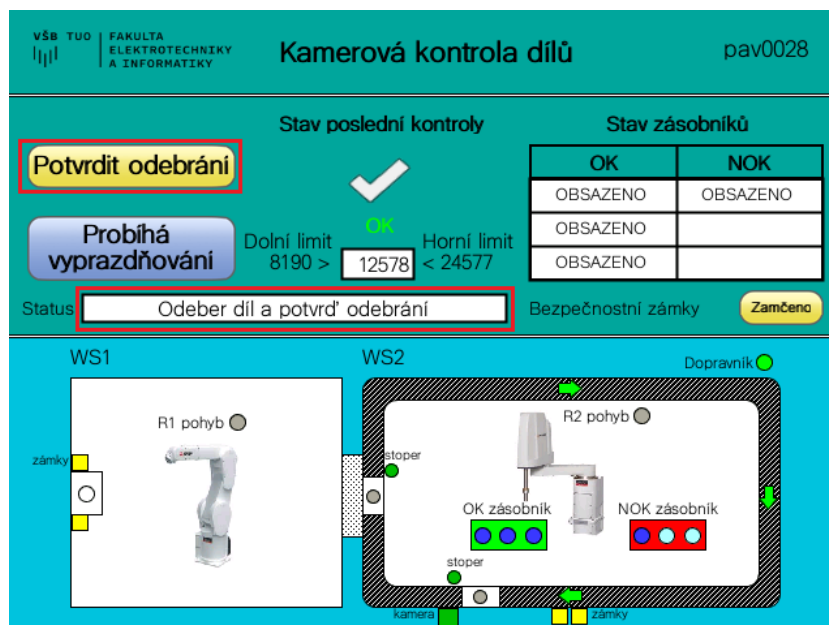
Robot 1 odebere díl z předávací pozice a založí jej do základací pozice. Pohyb robota signalizuje indikátor „R1 pohyb“.



Obrázek 72 - Testování aplikace –Robot 1 zakládá do odebírací pozice

V momentě, kdy je díl založen do odebírací pozice systém očekává jeho manuální odebrání a následné potvrzení. Stavový řádek zobrazí text „Odeber díl a potvrď odebrání“. Takto systém vyprázdní všechny pozice v zásobnících.





Obrázek 73 - Testování aplikace –Potvrzení odebrání dílu

### Požadavek

V momentě, kdy jsou oba zásobníky vyprázdněny, je opět možno vkládat díly do pracoviště.

### Ověření:

Po potvrzení odebrání poslední dílu je systém ve stavu, kdy v zásobnících nejsou žádné díly, a tudíž je možné opět zakládat díly ke kontrole.



Obrázek 74 - Testování aplikace –Systém ve výchozím stavu

Z výše ověřených požadavků je možné usoudit, že systém splňuje všechny požadavky, které byly definovány v zadání.

## 6 Zhodnocení výsledků

Dle zadání bylo v práci seznámeno s konstrukcí laboratorního pracoviště. Laboratorní pracoviště se skládá ze dvou buněk, kde každá obsahuje robotické rameno a řídicí prvky od společnosti Mitsubishi. Dále obsahuje senzory a inspekční prvky od společnosti IFM. Pracoviště je konstruováno pro manipulaci s materiálem pomocí robotických ramen.

Na základě analýzy funkcí tohoto pracoviště byla navržena demonstrační aplikace, která využívá robotická ramena, řídicí PLC, dopravník a další periférie. Náplní aplikace je kamerová inspekce vkládaných dílů a jejich třídění podle výsledku kamerové kontroly. Aplikace využívá uživatelský panel GOT 2710 pro komunikaci s obsluhou, robotická ramena pro manipulaci s materiálem a PLC Mitsubishi pro řízení pracoviště. Logicky byla aplikace rozdělena na 3 subsystémy. Uživatelské rozhraní, PLC část a robotickou část.

V rámci robotické části byla v teoretickém úvodu popsána použitá ramena Mitsubishi, robotický kontrolér a základní práci se softwarem RT Toolbox3. V praktické části byla navržena a realizována robotická aplikace pro každé rameno. Aplikace pro šestiosé rameno zajišťuje manipulaci s materiálem ze základní pozice na dopravník a zpět. Aplikace pro čtyřosé rameno zajišťuje třídění výrobků po kamerové kontrole do OK nebo NOK zásobníků. Oba tyto roboty jsou řízeny z PLC aplikace, která je v této aplikaci Master.

V další části se práce zabývá návrhem a realizací uživatelského rozhraní pro operátorský panel. Pro tvorbu uživatelského rozhraní byl použit software GT Designer3. Panel zajišťuje komunikaci mezi strojem a obsluhou pomocí grafických a ovládacích prvků. PLC část byla naprogramována v softwaru GX Works2. Pro ovládání jednotlivých systémů byly vytvořeny celkem 4 programy. Je to program pro zakládání materiálu, vyprazdňování stroje, inicializaci a kontrolu bezpečnostních zámků. Momentálně je pro programování k dispozici novější software GX Works3, nicméně použité PLC práci s tímto programem neumožňuje.

Kvůli vládním omezením, které probíhaly v době vypracování diplomové práce, byla práce dokončena simulačně. Výsledkem práce je tudíž plně funkční demonstrační aplikace, která spojuje dohromady tři simulační prostředí jednotlivých vývojových prostředí. Pro nasazení na reálné pracoviště by bylo potřeba přemapovat jednotlivé vstupy a výstupy na reálné karty PLC. Zapojení těchto vstupů a výstupů je uvedeno v práci. Aplikace je nicméně plně funkční a otestovaná v simulátoru. Postup testování byl uveden v práci a funkčnost je možné také vidět na přiloženém videu. V přílohách je také doložena elektrická dokumentace pracoviště a výpisy kódů ze softwaru.

## Použitá literatura

- [1] BOUCHARD, Samuel. *Lean robotics: a guide to making robots work in your factory* /. Great Britain: Amazon, 2017. ISBN 1775082903.
- [2] *GT Designer3 (GOT2000) Screen Design Manual* [online]. Tokyo: Mitsubishi Electric Corporation, 2003 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/got/sh081220eng/sh081220engai.pdf>
- [3] *GX Works2 Beginner's Manual (Simple Project)* [online]. Tokyo: Mitsubishi Electric Corporation [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc/sh080787eng/sh080787engr.pdf>
- [4] *RT ToolBox3 / RT ToolBox3 mini User's Manual* [online]. Tokyo: Mitsubishi Electric Corporation, 2017 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: [https://lbsbr2.gerionline.at/images/pdf\\_dateien/RT3Manual.pdf](https://lbsbr2.gerionline.at/images/pdf_dateien/RT3Manual.pdf)
- [5] *Kolaborativní roboty MELFA* [online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/>
- [6] Programmable Logic Controllers & components: Q35DB. *Power Motion Store* [online]. 2020 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.powermotionstore.com/products/Q35DB>
- [7] Power supply units for PLCs: Q61P. *Power Motion Store* [online]. 2020 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.powermotionstore.com/products/Q61P-D>
- [8] *GOT2000 Series* [online]. Mitsubishi Electric Corporation, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/hmi/got/pmerit/got2000/lup/list.html>
- [9] Kamerové senzory: O2V100. *Ifm electronic* [online]. ifm electronic, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/O2V100>
- [10] Senzory pro měření vzdálenosti typu O1D: O1D100. *Ifm electronic* [online]. ifm electronic, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/O1D100>
- [11] Induktivní senzory: IFS205. *Ifm electronic* [online]. ifm electronic, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/IFS205>
- [12] *AS-interface* [online]. Siemens, s.r.o., 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/industrial-communication/as-interface.html>

# Seznam příloh

## Přílohy v IS EDISON

PDF elektro dokumentace WS1

PDF elektro dokumentace WS2

Výpis zdrojového kódu PLC aplikace

Výpis zdrojového kódu robotické aplikace

ZIP soubor s projektem pro MELSOFT Navigator

Ukázkové video aplikace